



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN METEOROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA”

*Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniera Ambiental*

AUTORA

Diana Priscila Galarza Galarza

DIRECTOR

Ing. Alex Manuel Avilés Añazco

TUTOR

Ing Mario Xavier Gualpa Gualpa

CUENCA – ECUADOR

DICIEMBRE - 2016



RESUMEN

Las propiedades y fenómenos que se desarrollan en la atmósfera, son la fuerza natural dominante que gobierna el medio. A pesar de su importancia en la cuenca del río Machángara, los estudios sobre el conocimiento de su variabilidad y comportamiento son limitados. La cuenca se ha monitoreado durante muchos años por estaciones meteorológicas estándar, pero recientemente la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP) incrementó una red automática de monitoreo, que comprende las estaciones de Chulco, Tixán, Ucubamba y Labrado.

Contrariamente de que existen estudios previos de hidrología y pronósticos de sequías de la zona, la meteorología de la cuenca ha recibido poca atención; por tanto, el propósito de este estudio es obtener una mejor comprensión del comportamiento de las variables meteorológicas y datos de reanálisis a nivel de superficie descargados para el mismo período de tiempo, registrado mediante la red de monitoreo que influyen en la zona de estudio. La investigación comprende: (I) un análisis descriptivo de la meteorología en una gradiente altitudinal, en un rango altitudinal de 2425 – 3434 m. s.n.m., la variabilidad geográfica, la amplitud anual, su comportamiento en un evento de lluvia y correlación entre las variables y (II) la relación entre las variables meteorológicas, con respecto a datos de reanálisis, a nivel de la superficie. Este estudio proporcionará información inicial y relevante, que servirá de cimiento para futuras investigaciones sobre la meteorología y clima de cuencas de montaña; además, aporta como insumo para la planificación de acciones de conservación y protección de los servicios ambientales en el ámbito de estudio.

Palabras clave: evaluación meteorológica, variables meteorológicas, datos de reanálisis, cuenca del río Machángara.



ABSTRACT

The properties and phenomena that develop in the atmosphere, are the natural dominant force, which governs the environment. In spite of its importance, in the basin of the river Machángara, the studies, on the knowledge of their variability and behavior, they are limited. The basin has been monitored for many years, for meteorological stations standard, but recently the Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP) increased an automatic network of monitoring, which understands the stations of Chulco, Tixán, Ucubamba and Labrado.

Contrary to previous studies of hydrology and forecasts of droughts of the zone, the meteorology of the basin has received few attention; therefore, the intention of this study is to obtain a better comprehension of the behavior of the meteorological variables and information of reanalysis, to surface level, unloaded for the same period of time registered by means of the network of monitoring, which they influence the zone of study. The research includes: (i) a descriptive analysis of the meteorology in one gradient altitudinal, in a range altitudinal of 2425 - 3434 m. S.n.m., the geographical variability, the annual extent, its behavior in an event of rain and correlation between the variables and the (ii) the correlation between the meteorological variables, with regard to information of reanalysis, level of the surface. This study will provide initial and relevant information, which will be used as a foundation for future investigations on the meteorology and climate of basins of mountain; in addition, it contributes as an input for the planning of actions of conservation and protection of the environmental services, in the area of study.

Key words: meteorological evaluation, meteorological variables, reanalysis data, basin of the river Machángara.



INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCION:	10
1.1. Antecedentes	10
1.2. Justificación	11
1.3. Objetivos:	12
1.3.1. General	12
1.3.2. Objetivos Específicos	12
1.4. Área de Estudio	13
1.4.1. Ubicación	13
1.4.2. Clima	15
1.4.3. Hidrología, Hidrografía y Sistema Lacustre	16
1.4.4. Orografía	16
1.4.5. Geología y Geomorfología	17
1.4.6. Servicios Ambientales	17
1.5. Marco Teórico	18
1.6. Sumario	29
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	31
2.1. Análisis Descriptivo de la Meteorología en una gradiente altitudinal	31
2.1.1. Equipos	31
2.1.2. Datos	32
2.1.3. Control de Calidad de Datos	33
2.1.4. Métodos	33
2.2 Análisis de correlación espacio-temporal de las variables meteorológicas con respecto a datos de reanálisis	39
2.2.1. Equipo	39
2.2.2. Datos	40
2.2.3. Métodos	42
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
3.1. Análisis Descriptivo de la Meteorología, en una gradiente altitudinal	43
3.1.1. Cuantificación de la Gradiente Climática Altitudinal	43
3.1.2. Amplitud Anual	55
3.1.3. Variación Geográfica	58
3.1.4. Distribución y Comportamiento Horario Mensual	66



3.1.5. Análisis de Correlación.....	79
3.1.6. Comportamiento Meteorológico en un evento de lluvia.....	87
3.2. Análisis de Correlación entre los datos de reanálisis y las Estaciones Meteorológicas.	91
3.2.1. Análisis de Condiciones Superficiales.....	91
3.2.2. Análisis de Correlación espacio-temporal	92
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
4.1. Conclusiones.....	108
4.2. Recomendaciones e investigaciones futuras	109
Abreviaturas:	111
Glosario:	113
CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA:.....	114



Universidad de Cuenca
Cláusula de Derechos de Autor

Diana Priscila Galarza Galarza, autora de la Tesis, **“EVALUACIÓN METEOROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de, Ingeniera Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, enero de 2017

Diana Priscila Galarza Galarza

0106271042



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad intelectual

Diana Priscila Galarza Galarza, autora de la Tesis, **“EVALUACIÓN METEOROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, enero de 2017

Diana Priscila Galarza Galarza

0106271042



DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por haberme permitido culminar con éxito todos los objetivos propuestos.

A mis queridos padres: Mercedes y Gilberto por su apoyo, sacrificio, amor y paciencia, durante mi formación profesional y personal, ya que sin su entrega no podría haber logrado todas mis metas; gracias por todo; los amo mucho.

A mis hermanos: Mónica y Rodrigo, quienes han sido un importante apoyo en mi vida, gracias por su cariño y su valiosa comprensión.

A mi abuelita Regina y a mis tías María Elena y Marianita de Jesús, por guiarme y comprenderme, siempre, como unas madres; su afecto es un pilar fundamental en mi vida.

A mis abuelitos: Rosario, Ursino y José, personas de trabajo y dedicación; que aunque ya no estén presentes, su legado ha sido un estímulo para perseverar.

Diana Priscila Galarza Galarza



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar conmigo en cada paso de mi vida, a mis padres Mercedes y Gilberto quienes han guiado mi camino en mi formación personal y profesional con paciencia comprensión y entrega, gracias por todo.

A mis hermanos: Mónica y Rodrigo, que son una fuente de cariño en mi vida, lo que me ayuda mucho, para alcanzar mis metas.

Al Ingeniero Alex Avilés Añazco, Director de tesis, le expreso mi sincero sentimiento de respeto y agradecimiento, por su asesoramiento y colaboración para la culminación del presente trabajo investigativo.

Al Ingeniero Mario Xavier Gualpa Gualpa, por su asesoramiento y colaboración, quien con su conocimiento, paciencia y dedicación contribuyó significativamente para la culminación del presente trabajo.

A la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, que facilitó los datos utilizados en este trabajo.

A la UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA, a sus Docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental, quienes impartieron sus conocimientos durante mi formación y preparación profesional para el servicio a la sociedad.

A Xavier Galarza por ser una fuente de inspiración e impulso en mi carrera.

Finalmente, a mis compañeros, amigos y a quienes directa o indirectamente me ayudaron a culminar esta importante meta.

Diana Priscila Galarza Galarza

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN:

1.1. Antecedentes

La meteorología es una rama de la física, que estudia los fenómenos que ocurren en la atmósfera. Su importancia enmarca actividades: sociales, industriales, agrícolas, comerciales, de transporte, etc. La vida de los seres humanos está afectada directa o indirectamente por esta ciencia e influye en la toma de decisiones desde el principio de los tiempos; en conjunto con otros factores determinan la vida tal como la percibimos. Existe también una estrecha relación con la ubicación altitudinal, formando ecosistemas de estratigrafía altitudinal ya sea ecológica, vegetal o agrícola (Narvaéz, 2007).

La medida de variables, fenómenos y condiciones meteorológicas, que han sido monitoreados en los últimos 50 años en la mayor parte del globo terrestre, determinan el clima de una región en particular que presenta una variabilidad en el tiempo Mallen & Urrego (2006). Donde los parámetros más estudiados son: temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, viento, precipitaciones y radiación solar.

Las investigaciones y aplicaciones relacionadas con la meteorología y clima, necesitan datos observados históricamente obtenidos de diversas fuentes como: las estaciones meteorológicas en la superficie, que son herramientas poderosas para monitorear y pronosticar variables atmosféricas; los radares, que son otra forma de observación meteorológica, debido a que proveen una estimación de alta resolución y en tiempo real Meteorol & Global (2007); los satélites, son los sistemas de observación más complejos, pues, la posición que ocupan en la órbita alrededor de la Tierra les permite tener una visión privilegiada mucho más amplia y de conjunto, que la de cualquier aparato situado en la superficie terrestre.

Existen estudios que han analizado pocas variables meteorológicas en cuencas andinas con un enfoque hidrológico, Celleri, Willems, Buytaert, & Feyen (2010), Carchi (2015), Quito (2015), Tapia, (2016) Zhiña (2015), Avilés, Celleri, Solera, &



Paredes (2016), Sánchez (2015); sin embargo, escasas investigaciones se han concentrado en analizar y evaluar todas las variables meteorológicas de un lugar y su relación con datos de reanálisis. Por esta razón, se plantea la presente tesis, cuyo propósito es realizar la evaluación del Comportamiento meteorológico de la cuenca del río Machángara, que sirva de base para futuras investigaciones sobre la meteorología y clima de cuencas de montaña; además, aporta como insumo para la planificación de acciones de conservación y manejo de los recursos hídricos en el ámbito de estudio.

1.2. Justificación

La meteorología es una rama científica que satisface distintas necesidades del ser humano, e influye de forma vital en su toma de decisiones, generando una creciente demanda de información a escalas espacio temporal, local, regional y sinóptico.

ETAPA EP, a través de la Sub Gerencia de Gestión Ambiental, ha desplegado sus esfuerzos durante los últimos años, a fin de proporcionar a tiempo y en forma continua, la información hidrometeorológica de las cuencas hidrográficas, que rodean a la ciudad de Cuenca. La finalidad de esta generación de información es contribuir con una mejor cuantificación y comprensión de los procesos hidrometeorológicos, para obtener una base de datos en acciones de manejo y planificación, con respecto a los recursos naturales de la cuenca y especialmente el recurso estratégico del agua, los cuales aportan al desarrollo económico, social y ambiental de la zona.

El conocimiento obtenido, mediante el análisis de la información final de este estudio, proporcionará elementos para la gestión en temas: hidrológicos, biológicos, y edafológicos para el área de estudio, puesto que la cuenca del río Machángara es la principal fuente de abastecimiento de agua para: riego de varias comunidades, uso doméstico e industrial, generación hidroeléctrica y aporte de agua potable, para más de la mitad de la población de la ciudad de Cuenca (Dominguez, 2011).



Evaluar sistemáticamente la meteorología del sitio, puede ser útil para las instituciones que reciban servicios ambientales de esta cuenca hidrográfica. Esto constituye un punto de partida para: el cálculo de caudales, eventos extremos, irrigación, desarrollo de cultivos, crecimiento biológico y transporte de contaminantes.

1.3. Objetivos:

1.3.1. General

Evaluar la meteorología de la cuenca del río Machángara durante un lapso de 17 meses, mediante el análisis de los datos de las variables meteorológicas: temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento, también se tiene datos hidrometeorológicos, que son: temperatura del suelo contenido volumétrico de agua en el suelo, y evapotranspiración; y, datos de reanálisis: índice de superficie levantada, índice de superficie levantada mejorada o de 4 capas, temperatura del aire, omega, temperatura potencial, agua precipitable, presión superficial, humedad relativa, presión a nivel del mar y componentes de la velocidad del viento.

1.3.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este estudio son:

1. Realizar un análisis descriptivo de la meteorología en la gradiente altitudinal a diversas escalas espacio temporal, de los datos de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Machángara.
2. Efectuar un análisis de correlación espacio-temporal de las variables meteorológicas, con respecto a datos de reanálisis.

1.4. Área de Estudio

1.4.1. Ubicación

La subcuenca del río Machángara se localiza en las estribaciones occidentales de la Cordillera Real, al Noreste de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay y una pequeña parte en Cañar, con poblados en estas dos jurisdicciones Domínguez (2011). Presenta una superficie de forma pseudo-triangular de 324.9 km², dispuesta en las Coordenadas UTM: Longitud (78°59" – 79°04" W), Latitud (02°47" – 02°53" S) (Genovez, 2015). **Ilustración 1.**

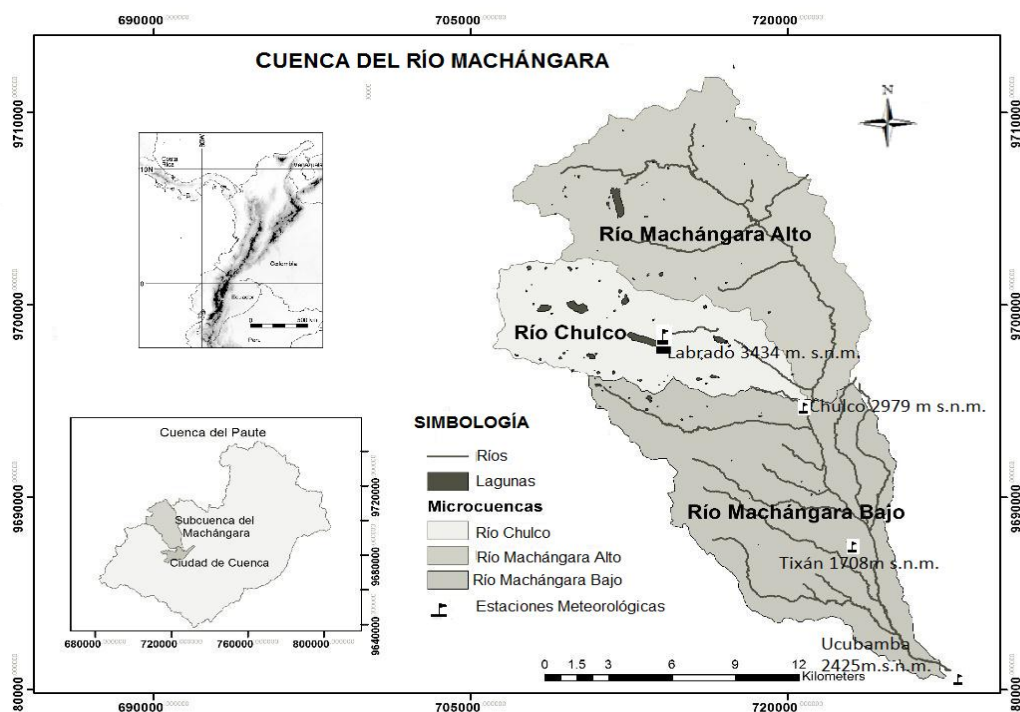


Ilustración 1. Ubicación de la cuenca del río Machángara

Fuente: Universidad del Azuay, Centro Geofísico. **Realizado por:** Autora

Esta cuenca hidrográfica, al ser parte de los Andes Ecuatorianos tiene características hidrológicas y geográficas propias de la zona, que se encuentran descritas en la **Tabla 1**

Tabla 1. Características de la cuenca del río Machángara

Características	Valor
Área de Drenaje	325.70 km ²
Perímetro	97.10 km
Cota Máxima	4415 msnm
Cota Mínima	2400 msnm
Altitud Media	3500 msnm
Caudal Ecológico	0.8 m ³ /s
Caudal medio en la unión con el río Tomebamba	7m ³ /s
Capacidad de Almacenamiento de (Chanlud)	17 millones de m ³
Caudal regulado (Chanlud)	4.8 m ³ /s
Capacidad de Almacenamiento (Labrado)	6.20 millones de m ³

Fuente: Departamento Sistema de Riego (2001), Domínguez (2011) **Realizado por:** Autora

El presente estudio se realizó, en las cuatro estaciones meteorológicas, distribuidas a lo largo de esta cuenca hidrográfica descrita anteriormente; la red monitoreada tiene características, que constan en la **Tabla 2**

Tabla 2. Estaciones hidrometeorológicas, cuenca del río Machángara

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - CUENCA MACHÁNGARA						
Tipo Estación	Nombre	Tipo de transmisión	Ubicación			
			UTM X	UTM Y	UTM Z	Microcuencas
Meteorológicas	El Labrado	Tiempo Real	714224	9698186	3434	Media
	Saucay (Machángara DjChulco M)	Tiempo Real	720890	9695100	2979	Baja
	Tixán en la PTAP	Tiempo Real	723026	9686691	2708	Baja
	Ucubamba PTAR	Tiempo Real	728722	9681876	2425	Baja

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

1.4.2. Clima

Existen tres factores principales, que describen los regímenes climáticos del Ecuador, referentes para la zona de estudio. El movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) Rodríguez, Benito, & Portela (2004), las precipitaciones orográficas, que generalmente se dan en los Andes Viale (2010) y el Océano Pacífico y sus corrientes marinas, que influyen en el Ecuador y el Perú (Celleri et al., 2010).

Para Domínguez (2002), la cuenca del río Machángara está formada por dos ecosistemas: el páramo y el bosque andino montano alto; pero, para la presente investigación, se incrementa la zona del valle interandino, en virtud de que la estación meteorológica Ucubamba, está localizada en la ciudad de Cuenca.



El páramo, considerado como una pradera neo tropical de altura con clima comúnmente frío y húmedo, por sus características es un regulador hídrico natural Hofstede, Lips, & Jongsma (1998). El bosque andino montano alto, presenta una combinación peculiar de: humedad, temperatura y geomorfología Ministerio de Ambiente del Ecuador (2012). Finalmente, el valle interandino tiene un clima templado frío (Moya, 2006).

1.4.3. Hidrología, Hidrografía y Sistema Lacustre

La cuenca de estudio conforma el 5% del territorio total de la cuenca del río Paute Quito (2015). Tiene tres microcuencas: Río Chulco, Machángara Alto y Machángara Bajo. Entre los principales ríos y quebradas están: el Chulco, Curiquingue, y Cebadas; además, se destaca, por su magnitud y uso específico, las presas de Chanlud y Labrado Sánchez (2015). El río Machángara se origina en la laguna Machángaracocha y su caudal es regulado por las presas mencionadas anteriormente, con una trayectoria oeste – este, en su parte inicial, en la parte alta cambia a una dirección noroeste – sureste, en la cuenca media y baja, hasta la confluencia con el río Tomebamba, cerca de la ciudad de Cuenca. (Domínguez, 2002)

1.4.4. Orografía

Topográficamente toda la superficie es irregular, típica de la sierra Ecuatoriana. En la zona alta, donde está emplazada la central hidroeléctrica de Saymirín, encontramos macizos que se cierran notablemente para conformar abismos de gran escarpe en forma de verdadera garganta en el profundo del angosto valle. El extremo septentrional en cambio, corresponde a terrazas fluviales del mismo río. El lugar del valle bajo tiene hasta 350 metros de ancho, como es el caso de la zona de unión del río Machángara con el río Cuenca (Quinta Machángara). También conocemos elevaciones importantes, como son: las Lomas de Santa Teresita de Chiquintad, Corpanche, Zhiglla, Ayaloma, Loma Campana y Huanduc. (Ochoa, 2011).



1.4.5. Geología y Geomorfología

En la zona de estudio, se identifica las siguientes unidades geomorfológicas: valles glaciares, estribaciones y valles aluviales y zonas altas de fuertes pendiente Domínguez (2002). En la base de la cordillera occidental y parte de la sierra sur del Ecuador, constan mayoritariamente rocas volcánicas. En el Austro, la geomorfología actual es dominada por la formación Tarqui, transformada por la erosión tectónica, cubierta por una capa delgada de ceniza volcánica, principalmente del volcán Sangay entre otros. El valle interandino consta de cuencas sedimentarias, en ambiente lacustre, fluvial y aluvial, que en su mayoría actualmente están cubiertos por piroclastos (Hofstede et al., 1998).

1.4.6. Servicios Ambientales

La cuenca del río Machángara desempeña un papel importante en el desarrollo económico, social y ambiental de la zona austral del país, puesto que contribuye con:

- La generación de energía, que está integrada al sistema nacional interconectado de energía eléctrica, a partir de los embalses de Chanlud y Labrado.
- El Ministerio del Ambiente en el año de 1985, publicó en el Registro Oficial, que el 77% de la superficie total de la subcuenca es área de Bosque y Vegetación Protectora Machángara – Tomebamba, considerada como un espacio de vida, para la conservación de los indicadores genéticos existentes (Monsalve, Quintanilla, & Trujillo, 2011).
- Los sistemas de riego Machángara y Checa – Sidcay – Ricaurte captan las aguas del río Machángara, conduciendo cada uno un caudal de 700l/s.
- A partir de la planta de tratamiento de Tixán, que se origina en la Central Hidroeléctrica Saymirín, ETAPA contribuye con 1920l/s de agua potable, para la ciudad de Cuenca.
- Los caudales, captados para uso industrial y piscicultura constituyen al menos el 5% del caudal total utilizado en la cuenca Domínguez (2002).



Alrededor de 120 manufacturas, ubicadas en el Parque Industrial, de la ciudad de Cuenca, son beneficiadas del recurso hídrico de esta subcuenca.

- Brinda oportunidades ganaderas de pastura, silvo pastoril (ganadería y bosques) y de agricultura (Domínguez, 2002).

Por ello, se considera a la subcuenca del río Machángara como un ecosistema estratégico, que debe ser cuidado, conservado, protegido y manejado adecuadamente, ya que servirá de soporte económico y ambiental, para las futuras generaciones.

1.5. Marco Teórico

Para mejor comprensión del tema, se conceptualizan algunas aseveraciones que rigen todo el sistema de estudio.

Meteorología: ciencia encargada en estudiar la atmósfera, sus propiedades y fenómenos (Exline, Levine, & Levine, 2006).

Clima: conocido como el conjunto de estados de tiempo atmosférico, producidos en una región, en particular, otorgándole una condición (Rodríguez et al., 2004).

Tiempo atmosférico: indica el estado de la atmósfera, en un momento, y, en un lugar determinado es distinto para cada estación y, puede cambiar de un día a otro, e incluso a lo largo del mismo día (Randall, 2004).

El presente estudio se fundamenta puntualmente en la meteorología, que es una de las ramas menos estudiadas en las cuencas andinas debido a la poca disponibilidad de redes meteorológicas en zonas de montaña; no obstante, es clave para estudios hidrológicos, eco hidrológicos y bío-hidrológicos, que están vinculados con el desarrollo de la vegetación, los ecosistemas, el consumo de agua y el balance hídrico.

La variabilidad de las condiciones atmosféricas es propia de cada lugar, considerándoles como base para la zonificación y regionalización de algunas áreas del planeta. Dicho comportamiento desempeña un papel importante en los procesos biológicos, eco sistémicos y socioeconómicos (Pabón, 2005).



La descripción de la meteorología en la gradiente altitudinal de la cuenca del río Machángara, analiza los siguientes parámetros:

TEMPERATURA

Existen varias definiciones de temperatura como: la magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas; mientras mayor movimiento exista, mayor será la temperatura Rodríguez et al. (2004). De acuerdo con Martínez (2007) es la propiedad física, que caracteriza el estado termodinámico de la materia.

Gualpa & Celleri (2013) y Allen G, Pereira, Raes, & Smith (2006) expresan que la temperatura influye en el comportamiento de la presión y también existe una relación no lineal con la humedad. Es de suma importancia para la planificación de la sociedad, en los recursos hídricos, la energía hidroeléctrica, la agricultura, la ecología y otras áreas Minder, Mote, & Lundquist (2010). Su variación depende de la latitud, altitud y continentalidad del lugar. En todos los climas de alta montaña tropical (tropicales andinos), se presenta una disminución de aproximadamente 0.6°C por cada 100m de ascenso Hofstede et al. (1998). Para la micro-cuenca “El Labrado”, el promedio mensual de la temperatura media diaria, en un periodo de 32 años, es de 8.5°C , teniendo una mínima y máxima de 6.2°C y 10.6°C respectivamente y las épocas más frías son desde junio hasta septiembre Quito (2015). El comportamiento diario tiene su punto máximo, que se presenta dos a tres horas después de la culminación del sol, es decir desde las 11 horas hasta las 15 horas, aproximadamente, y un mínimo, de dos o tres horas después de que inicia el día. La variación de temperaturas a lo largo del año, está en función de la inclinación con que inciden los rayos solares sobre la superficie de la Tierra. El Ecuador tiene amplitudes de 1 a 3 grados anualmente (Martínez, 2007).

HUMEDAD RELATIVA

Martínez (2007), Rodríguez et al. (2004), Griffiths (2006) y Artz et al. (2010) coinciden en la definición de humedad relativa, como el grado de saturación, que



expresa el cociente del contenido de vapor de la masa de aire, a una temperatura dada y su máxima capacidad de almacenamiento de éste, *llamada presión de vapor saturación*, a la misma temperatura. Depende de la temperatura del aire, presión, radiación solar y movimiento de las masas de aire Martínez (2007) y Eslava (1992), está relacionada con procesos de evaporación, transpiración y precipitación. El comportamiento diario, generalmente tiende a ser más bajo en las primeras horas de la tarde y más alto por la noche, especialmente a primeras horas de la mañana, cuando se alcanza la temperatura mínima (Meruane & Garreaud, 2015).

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La atmósfera contiene gran cantidad de moléculas de gas que son atraídas hacia la tierra por la fuerza de la gravedad; la medida del peso de la columna de aire sobre unidad de área, que se encuentra en un sitio determinado, se considera presión atmosférica. Asociados (2005) y Rodríguez et al. (2004). Su valor es inversamente proporcional a la altura Gualpa & Celleri (2013), varía de 0.1 mbar por cada metro de altura, de acuerdo con la WMO (2008). Depende además de la situación geográfica, temperatura y humedad. Martínez (2007) y refleja la densidad y la temperatura del gas Asociados (2005), como por ejemplo, la ocurrencia de la evaporación en altitudes elevadas Allen G et al. (2006). En la superficie de la Tierra, pequeñas pero importantes variaciones en la presión están relacionadas con la intensidad de la insolación y el movimiento general de la circulación del Globo, la humedad local y precipitación. En consecuencia, un cambio en la presión del aire, en una localidad determinada a menudo indica un cambio en el tiempo. Atmospheric Pressure, Winds, and Circulation Patterns, (2007). Diversos autores han identificado para la zona tropical un comportamiento bimodal, en el ciclo diario de la presión atmosférica: dos mínimos, uno entre las 4 y 6 de la mañana (tiempo local) y el segundo, más bajo, entre las 4 y 5 de la tarde. Este último es generado por la coincidencia del máximo de temperatura y el máximo efecto de la marea atmosférica Martínez, (2007) y Asociados, (2005). La amplitud en la región Ecuatorial llega hasta 3 mbar anualmente.



RADIACIÓN SOLAR

Rodríguez et al. (2004) puntualiza que la radiación es la energía transferida por el sol a la tierra, que viaja por el espacio, a través de ondas cortas y llevan una determinada cantidad de energía. En un día despejado, su valor corresponde el 75% de la radiación extraterrestre y en un día nublado, el 25 % Allen G et al. (2006). Tiene un comportamiento monomodal, durante el día, presenta un máximo al mediodía (tiempo local). Depende principalmente del ciclo diario de la temperatura, como de sus patrones máximos y mínimos Pabón (2005). La radiación y la humedad del medio ambiente dependen de la temperatura y de insumos de precipitación para experimentar cambios en su proceder (Thornton, Hasenauer, & White, 2000).

PRECIPITACIÓN

Las nubes están formadas por minúsculas gotitas en donde actúan dos fuerzas: una de arrastre de aire ascendente y el peso de la gotita, cuando éste es lo suficientemente grande vencerá a la fuerza de arrastre, cayendo la gotita al suelo y provocando la lluvia Rodríguez et al. (2004). Se conoce que 1 mm de lluvia, corresponde al volumen de 1 litro recolectado, en un área horizontal de 1m^2 . Su distribución geográfica, intensidad y frecuencia, en la superficie terrestre, es muy compleja de definir porque depende de la altitud, distribución continental, océanos y del relieve. La frecuencia y la cantidad total de las precipitaciones pueden variar apreciablemente de un año a otro. Las regiones ecuatoriales suelen recibir intensas lluvias que superan los 3000 l/m^2 anuales. Para Padrón (2013), en el páramo, la variación de precipitación oscila entre 700-4000 mm al año, que depende del efecto latitudinal. Su variabilidad sub diaria tiene el siguiente comportamiento: las intensidades son mayores en horas de la tarde, disminuyen durante la noche y los menores valores suceden en la mañana. La distribución de la lluvia para la cuenca del río Machángara, ha sido estudiada por varios autores como: Padrón (2013), que analizó éste parámetro de las cuenca de los ríos Tomebamba - Machángara, encontrando que la temporada seca se extiende desde agosto hasta octubre. Para los demás meses, la precipitación supera los



100 mm, en cada uno de ellos. El régimen parece ser unimodal, siendo entre enero y febrero, la temporada más lluviosa. Para Hofstede et al. (1998), en las partes altas de la cordillera y el callejón interandino del Ecuador, tienen un régimen de precipitación ecuatorial del Hemisferio Sur. Significa que se presentan dos picos de precipitación, uno de febrero hasta mayo, y otro de octubre hasta diciembre, provocado por el movimiento de ZCIT (zona de convergencia intertropical), sobre el país. La principal estación seca se presenta desde junio hasta agosto, invierno austral. El segundo periodo, menos seco, se presente desde fines de diciembre-enero (veranillo del niño). Buytaert, Céleri, De Bièvre, & Cisneros (2003), indican que la precipitación en los Andes Occidentales, del sur del Ecuador, donde se encuentra la zona de estudio de Padrón (2013), tiene un comportamiento bimodal, con la temporada seca principal, entre agosto - septiembre y otra entre diciembre – febrero. La acción de las masas de aire de ambos océanos, en combinación con la topografía de fuertes cambios de pendiente y altitud, pueden generar grandes variaciones de los patrones de precipitación, a nivel local; este sería el motivo para las diferencias encontradas, con respecto a los otros estudios. Dominguez (2011), describe el promedio de precipitación anual, para las estaciones del Labrado, en los años 1964-2011, de 1261.91mm y para Chanlud, en el periodo 2001-2002 de 1265.85 mm, ubicados en la cuenca alta del río Machángara. A partir de estos valores presenta dos periodos húmedos que corresponden a los meses, de febrero a mayo y, de octubre a diciembre. De junio a agosto se presenta una estación seca. Quito (2015), analizó, también, la precipitación para la estación Labrado, obteniendo un promedio anual y mensual de lluvias, aproximadamente 1,283 mm y 93.43 mm, respectivamente.

VIENTO

La circulación de las masas del viento se origina por: el déficit de temperatura (la masa de aire frío ocupa el espacio libre que dejó el ascenso del aire caliente) o de presión (el aire se direcciona, desde las zonas de alta presión, hacia zonas de baja presión). Influye sobre el comportamiento y distribución de la humedad,

evapotranspiración, lluvia y temperatura del aire Narvaéz (2007). Los vientos varían ampliamente en su velocidad, duración, y dirección. Mucha de su fuerza depende del tamaño o la fuerza de la gradiente de presión al que están respondiendo Atmospheric Pressure, Winds, and Circulation Patterns (2007). El sentido se deriva del hemisferio en el cual se encuentra ubicado; su magnitud vectorial está formada por: u = la componente Este - Oeste (+ hacia el este) v = la componente Norte - Sur (+ hacia el norte) y w (omega) = componente vertical, de arriba a abajo (+ hacia arriba) Geosciences (2016), comúnmente está expresada en Pascales sobre segundo; es utilizada para identificar la causa de los movimientos verticales ocurridos en la atmosfera; y la dirección de procedencia se indicará, mediante el ángulo (con respecto al Norte y en sentido horario), o en las direcciones de la rosa de los vientos. Señala Rodríguez et al. (2004), que los vientos locales producidos en una determinada zona, generalmente son consecuencia de la orografía y geografía del lugar.

TEMPERATURA DEL SUELO

Influye en los procesos físicos del suelo: asimilación de nutrientes, respiración, difusión de los gases y solutos, flujo de agua en el suelo, actividad microbiana, disponibilidad de agua para las plantas, la velocidad de la descomposición de la materia; procesos químicos: reacciones químicas; y procesos en las plantas; impulsa la germinación, floración, crecimiento de las plantas, la caída de las hojas, transpiración u a tio (2002). Hofstede et al. (1998), explica que el régimen de temperatura del suelo es Isomésico¹ hasta Isofrígido² un rango altitudinal de (3400 a 4000m. s.n.m) altura correspondiente al paramo. En el Ecuador, este nivel, aborda una temperatura media de 10⁰C a una altura aproximada, de 3600 a 3700 m. s.n.m.

La temperatura del suelo fluctúa, anualmente, y durante el día, siendo afectado por la radiación solar y la temperatura del aire. Durante el día se calienta y

¹ **Isomésico:** La temperatura media anual del suelo es igual o mayor de 8 °C, pero menor de 15 °C

² **Isofrígido:** La temperatura media anual del suelo es menor de 8°C.



durante las noches se enfria; las variaciones diurnas son amortiguadas con la profundidad y hay picos que son desplazables con el tiempo (Hopmans, 2001).

CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO

Conceptualmente, el contenido de agua del suelo es una expresión de la masa o el volumen de agua en el suelo. La humedad del suelo es un componente importante en el ciclo del agua, tanto a pequeña escala, por ejemplo, en la agricultura, irrigación y riego; y, en modelado a gran escala, como en la interacción de la tierra, con la atmósfera, a partir de modelos de circulación general atmosférica y aplicaciones agrícolas Edab (1990). Ayuda a comprender la iniciación de los eventos convectivos y pronosticar el riesgo de inundaciones o la ocurrencia de niebla. El crecimiento de las plantas, la temperatura del suelo, el transporte de sustancias químicas y la recarga de agua subterráneas son dependientes de la humedad del suelo (Bilskie, 2001).

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Allen G et al. (2006), describe a la evapotranspiración como el cambio de vapor de agua entre la superficie terrestre y la atmósfera. Está vinculada con el cierre del balance hidrológico, el consumo de agua de los ecosistemas y el desarrollo de la vegetación Cordova, Carrillo, & Céleri (2013). Depende de la radiación solar, velocidad del viento, temperatura del aire, presión atmosférica, flujo de calor del suelo, humedad relativa, el déficit de presión de vapor, las propiedades físicas y químicas del suelo, la sanidad del cultivo y de prácticas que alteran el microclima como son: la cobertura vegetal, el sembrío, el riego, las barreras rompe vientos y las distancias de siembra Jaramillo (2006) y Allen G et al. (2006). Para nuestro estudio, este dato es calculado a partir de la ecuación de Permant Monteith, que propone (Allen G et al., 2006).

DATOS DE REANÁLISIS

Con el fin de satisfacer el segundo objetivo, se indaga los principios, fundamentos y aplicaciones de los datos de reanálisis, detallando cada uno de ellos que son: índice de superficie levantada, índice de superficie levantada mejorada o de cuatro



capas, temperatura potencial, agua precipitable, presión al nivel del mar y omega, también se cuenta con temperatura del aire, presión atmosférica, humedad del aire, y componentes de la velocidad del viento, descritos anteriormente. Estos datos se descargaron para el periodo de 2014/08/30 – 2015/12/31.

Reconociendo el desafío actual que representa el sinnúmero de datos meteorológicos a nivel global, nos incentiva a desplegar modelos y técnicas innovadoras, para aplicaciones en sectores públicos como privados, utilizando servicios de información de circulación atmosférica.

La climatología sinóptica es un elemento básico para el desarrollo posterior de modelos, que permitan simular el estado actual y la evolución de los distintos eventos meteorológicos (Zea, León, & Eslava, 2001).

El reanálisis tiene un rol integrativo crucial dentro del sistema de observaciones global, produciendo registros consistentes, completos y de larga duración de las componentes del sistema climático global, incluyendo la atmosfera, océanos y la superficie terrestre. Además, esta información tiene un papel fundamental, en estudios sobre la naturaleza, como también, causas e impactos de fenómenos climáticos de escala global y regional.

Los datos de los reanálisis son especialmente importantes en estudios de los mecanismos físicos que producen anomalías climáticas de gran impacto, por ejemplo:

- Norte, Seluchi, Gomes, & Simonelli (2007), analizó la ola de calor, que se dió en la última semana del mes de enero del 2003, en la zona subtropical de América del Sur, mediante un simulador numérico, para identificar la variación de los datos de reanálisis, en el tiempo del evento.
- Jayakrishnan & Babu (2014), investigó la dinámica de las tormentas, a partir de varios índices de estabilidad atmosférica, como el índice de superficie levantada en India, al estudiar la estructura termodinámica de la atmosfera

convectiva³, analizó el comportamiento de la atmósfera y se acentuó predicciones atmosféricas, para esta región. Un estudio similar existe en dos zonas costaneras de Egipto (Ahmed & Sadek, 2015).

- Los datos de reanálisis, estudiados simultáneamente, indican fenómenos que intervienen en la meteorología, como: Roy & Haigh (2010), denotaron los signos del ciclo solar⁴, a partir de la presión a nivel del mar y la temperatura a nivel del mar, a partir de correlación lineal en el Pacífico del Norte, demostrando que hay mucho apego entre la mancha solar⁵ y ENOS.
- Su aplicación está dirigida, también al transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos. Remón (2005), analizó la relación que existe entre la situación meteorológica sinóptica y los niveles de contaminación registrados en una región, con el uso de datos de reanálisis y modelos de simulación numérica del transporte atmosférico.

El desarrollo de modelos y análisis de reanálisis, que se integren a la Tierra representan interacciones climáticas entre la atmósfera, los océanos, la tierra y la criósfera, incluso hay nuevos análisis que relacionan la biosfera con el ciclo del carbono (Kalnay et al, 1996).

ÍNDICE DE ELEVACIÓN

Definido por la diferencia de temperatura entre una porción de aire levantado adiabáticamente $T_p(p)$ y la temperatura del medio ambiente, $T_e(p)$, a una altura determinada en condiciones de presión dada en la troposfera, (capa atmosférica más baja, donde generalmente está a 500mbar), lo que ayuda a predecir la inestabilidad de la atmósfera y, por consiguiente, las tormentas eléctricas Myers (1962), cuando el valor es positivo, la atmósfera (a la altura respectiva) es estable y cuando el valor es negativo, la atmósfera es inestable, fenómeno que se explica en la **Tabla 3**

³ **Convección atmosférica:** es el resultado de la inestabilidad parcial del ambiente, o diferencia de temperatura, en la capa atmosférica. Debido a un gradiente adiabático en el aire húmedo y seco provoca la inestabilidad

⁴ **Ciclo solar:** El ciclo solar está relacionado con la aparición de manchas solares.

⁵ **Mancha solar:** es una región del Sol que tiene una temperatura más baja que sus alrededores, y con una intensa actividad magnética

Tabla 3 Estabilidad Atmosférica

Índice de elevación	Valor	Condición
LI	> 6	Muy estable
	1 y 6	Estable/ No es posible las tormentas
	0 y -2	Ligeramente inestable, soleado con mecanismos de elevación (frente frío)
	-2 y -6	Tormentas Inestables
	> -6	Tormentas severas, muy inestable.

Fuente: Myers (1962) **Realizado por:** Autora

ÍNDICE LEVANTADO MEJORADO O DE CUATRO CAPAS

Es la variación del índice de elevación, que considera la sección vertical de la atmósfera entre la superficie y 1600 m. en donde divide en cuatro subsecciones, calculado un índice en cada una y finalmente, se toma el mejor valor, es decir, el más inestable; es un medio de verificación para cuando el índice de superficie levantada puede falsear la verdadera inestabilidad atmosférica (Knutsvig, 2015).

Estos dos índices se consideran índices de estabilidad termodinámica y son estudiados durante las tormentas eléctricas y para predicción de las mismas, ayudan a describir lo inestable que es la atmósfera o indicar la probabilidad de convección (Davison & Galvez, 2016).

TEMPERATURA POTENCIAL

La temperatura potencial es una variable termodinámica ampliamente utilizada en meteorología, que representa la temperatura que procede del aire seco a una presión (p) y temperatura (T) (en grados Kelvin), tendría si fuera comprimida o



expandida adiabáticamente⁶ hasta una presión de referencia (p_0), normalmente 1000 mbar. (American Meteorological Society, 2015).

La temperatura potencial puede ser utilizada para comparar la temperatura de las parcelas de aire, que se encuentran en diferentes niveles de la troposfera. La temperatura tiende a disminuir con la altura. Si la temperatura potencial de una parcela de aire, en un nivel de presión es más fría, que las parcelas de aire en otros niveles de presión, el pronosticador puede inferir la advección⁷ de aire frío o existe un bolsillo de frío, en el nivel de presión, con menor temperatura potencial (Chaston, 2008).

AGUA PRECIPITABLE TOTAL

La atmósfera contiene una enorme cantidad de humedad que circula alrededor del globo; sin embargo, no todo se condensa en lluvia, aguanieve o nieve, ya que se necesita el equilibrio adecuado de la presión y la temperatura para crear precipitación. El agua precipitable total, considerada también como vapor de agua precipitable, es el total de vapor de agua atmosférica, contenido en una columna de sección transversal, que se extiende todo el camino, desde la superficie de la tierra hasta el límite superior de la atmósfera.

En las tormentas reales, en particular, las tormentas eléctricas, las cantidades de lluvia, muy a menudo superan el total de vapor de agua precipitable de la atmósfera suprayacente⁸; ésta resulta de la acción de convergencia⁹, que lleva a la tormenta el vapor de agua de una zona circundante; sin embargo, existe una correlación general, entre la cantidad de precipitación en las tormentas dadas y el vapor de agua precipitable, de las masas de aire que participan en esas tormentas. (American Meteorological Society, 2015).

Se observa también que los valores del agua precipitable son mayores sobre la región Ecuatorial y el océano. Los altos niveles de evaporación en estas áreas,

⁶ **Adiabático:** sistema que no intercambia calor con su entorno.

⁷ **Advección:** en meteorología, el proceso de transporte de una propiedad atmosférica, como el calor o la humedad, por efecto del viento.

⁸ **Suprayacente:** Se encuentra por encima de algo

⁹ **Convergencia:** circulación de dos flujos horizontales.



son los principales motores de la circulación atmosférica (Science on a Sphere, 2016).

Este producto de datos es esencial para entender el ciclo hidrológico, propiedades de los aerosoles, las interacciones de aerosol en la nube, el balance de energía, el clima, la correlación atmosférica y la caracterización de la atmosfera MODIS Atmosphere (2015). Algunos trabajos han sido realizados para crear relaciones empíricas, entre la humedad específica de la superficie y el agua precipitable, en base a mediciones localizadas, generalmente en un polinomio geográfico de orden 2 a los 5 grados, pero este método no ha recibido uso generalizado, porque la humedad es una medición local y el agua precipitable es una medida total de la columna.

PRESIÓN A NIVEL DEL MAR

Es la presión medida en la superficie del mar. La conexión entre los océanos y la atmósfera de la Tierra tiene un impacto directo sobre las condiciones meteorológicas y climáticas, experimentadas en todo el mundo. La comprensión de los procesos, que conducen a estos tipos de interacciones, es un componente clave en la mejora de las predicciones y avisos. Esta información puede ayudar a mantener seguras a las comunidades y guiarlas en decisiones relacionadas con cuestiones tales como la gestión del agua, la planificación de emergencia, y la resiliencia de los ecosistemas Alexander & Dias (2015). Por otra parte, la emanación de gases de efecto invernadero y aerosoles de sulfato por los seres humanos, influyen en el aumento de la presión del nivel del mar sobre el subtropico del Océano Atlántico Norte, el sur de Europa y el norte de África, causando la disminución del nivel de mar en las regiones polares y el Océano Pacífico Norte (Gillett, Zwiers, Weaver, & Stott, 2003).

1.6. Sumario

El presente trabajo tiene la siguiente distribución

Capítulo 1: Introducción



En el capítulo 1, se realiza una introducción al documento, presentando los antecedentes que llevan a la realización del presente trabajo y la justificación para su desarrollo. A continuación, se plantea los objetivos: general y específicos a alcanzar durante el desarrollo del trabajo. Se describe las zonas de estudio de donde se obtuvo los datos para el análisis. Descripción del marco teórico, para comprender los fundamentos del estudio y finalmente se realiza un esquema de la organización de la presente tesis.

Capítulo 2: Materiales y Métodos

Se analiza la valoración de cada parámetro en la gradiente altitudinal del río Machángara. La disponibilidad geográfica. La amplitud que tiene en el tiempo de monitoreo. Su dinámica, horario mensual, en las cuatro estaciones en conjunto. La correlación espacio-temporal de cada variable y, su comportamiento en función de un evento de lluvia. Análisis de correlación espacio-temporal de las variables meteorológicas con respecto a datos de reanálisis. Visualización general del comportamiento de los datos de reanálisis. Correlación de los datos de reanálisis. Correlación entre las variables meteorológicas y los datos de reanálisis.

Capítulo 3: Análisis y Discusión

Se desarrolla cada uno de los puntos planteados en el capítulo 2.

Capítulo 4: Conclusiones

Conclusiones Generales. Recomendaciones y estudios futuros.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Análisis Descriptivo de la Meteorología en una gradiente altitudinal

2.1.1. Equipos

Dado que la medición de las variables meteorológicas permite realizar un seguimiento de la meteorología de un lugar a través del tiempo, ETAPA EP incorporó una red automática de monitoreo meteorológico **(Foto 1)**, en la gradiente altitudinal de la cuenca del río Machángara, usando los siguientes equipos:

Foto 1 Estación Meteorológica Chulco



Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

Met One 034B Windse

El 034B, se utiliza para medir la velocidad horizontal del viento y la dirección. La velocidad del viento se mide con un anemómetro de tres tazas y con la ayuda de la rotación de una capa de rueda que se abre y se cierra, (funciona como interruptor de láminas), a una velocidad proporcional a la del viento, marca una tensión de salida que es similar a la dirección del viento. Las unidades de medida son para la velocidad del viento m/s y, para la dirección del viento grados (Copyring, 2012) .



CS106 Barometric Pressure Sensor

El CS106 mide la presión barométrica, para la gama de 500 a 1100 mbar. Este rango es inferior al valor del nivel del mar, por ejemplo, en una mina y a más de 15.000 pies sobre el nivel del mar. Diseñado para su uso, en aplicaciones medioambientales, la CS106 es compatible con todos los registradores de datos Campbell Scientific. La unidad de medida es milibar (Copyring, 2010a).

Pyranometer

El CS300 mide la radiación solar entrante, con un detector de silicio fotovoltaico, montado en una cabeza de coseno corregido. La salida del detector es una corriente que se convierte en voltaje, por un potenciómetro en maceta en la cabeza del sensor. La resistencia del potenciómetro se ajusta cuando el sensor está calibrado, de modo que todos los sensores tienen la misma sensibilidad de salida. La unidad de medida es W/m^2 promedio. (Copyring, 2013) .

Pluviógrafo

Es una adaptación del pluviógrafo estándar de cubeta basculante, la unidad de medida es mm de lluvia total (Copyring 2010).

CS215 Temperature and Relative Humidity Probe

La temperatura CS215 y la sonda de humedad relativa están diseñados para uso general, en aplicaciones de registro de datos meteorológicos y de otro tipo. Utiliza el SDI-12 protocolos de comunicaciones, compatibles con cualquier grabadora de SDI-12 simplificando la instalación y programación. La unidad de medida es $^{\circ}C$ promedio, para la temperatura y % promedio correspondiente a la humedad relativa (Copyring, 2009).

2.1.2. Datos

La serie de datos de las variables meteorológicas, en cada estación, son descargados por medio de un datalogger a tiempo real, en la zona de monitoreo; el registro se realiza de acuerdo a la **Tabla 4**.

Tabla 4. Monitoreo en la cuenca del río Machángara

Estación	Registro		
	Fecha inicio	Fecha fin	Frecuencia
El Labrado	01/04/2015	30/11/2015	Cada hora
Saucay (Machángara DjChulco M)	01/08/2014	31/12/2015	Cada cinco minutos
Tixán en la PTAP	01/08/2014	31/12/2015	Cada cinco minutos
Ucubamba PTAR	01/08/2014	31/12/2015	Cada cinco minutos

Fuete: ETAPA EP **realizado por:** Autora

2.1.3. Control de Calidad de Datos

Tener una buena base de datos es un requerimiento fundamental para alcanzar un estudio exitoso y que sus resultados sean validados. Celleri et al. (2010) y Hernández, García, Palenzuela, & Belda (2011). Para Buytaert, Iñiguez, & De Bièvre (2011), la heterogeneidad en las series climáticas, se debe a la ubicación de las estaciones de medida, los cambios en el sistema de observación (equipos o personal encargado) y los producidos en el entorno de las estaciones. Para lograr una adecuada serie de datos, en el presente estudio, se tomó como referencia el protocolo de control de calidad de datos de ETAPA EP, descrito en la tercera sección, que comprende aquellos procesos de validación, de la calidad de los datos registrados por las estaciones meteorológicas (Gualpa 2014).

2.1.4. Métodos

Para el análisis de la meteorología de la cuenca del río Machángara, se parte de varios estudios individuales en diferentes series de tiempo, para una mejor comprensión y detalle. Se cuenta con los datos de temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura del suelo, contenido volumétrico del agua en el suelo y



evapotranspiración (es calculada por la ecuación de Penman-Monteith a escala diaria).

Las siguientes observaciones plasmadas no son significativas, para identificar una tendencia de la dinámica de los valores meteorológicos, porque, para establecer dicho argumento, en un sitio determinado, es necesario mayor tiempo de monitoreo; no obstante, es útil definir su proceder como base para futuras investigaciones.

2.1.4.3 Cuantificación de la Gradiente Climática Altitudinal

Para definir la gradiente climática en la zona de estudio, partimos de la elaboración del gráfico de box-plot o diagrama de caja; que para Helsel & Hirsch (2002) representa, de forma resumida, la estandarización en la distribución de la base de datos, visualizando el centro o mediana, la variación o dispersión, la asimetría y la presencia o ausencia de valores inusuales.

En los gráficos se representa el promedio diario, agrupado por mes y de las cuatro estaciones, con excepción de la precipitación y la evapotranspiración, que son valores acumulados al día. En el eje de las abscisas, están los meses de monitoreo y en el eje de las ordenadas, el rango de cada variable de estudio.

Con los gráficos de bigotes, combinados en un rango de tiempo y espacio, se visualiza la información útil y resumida de como decrecen o incrementan el valor de los parámetros atmosféricos, a lo largo de la cuenca del río Machángara.

2.1.4.4 Amplitud Anual

A partir de la serie de datos y gráficos de bigotes de la sección **2.1.4.1** se procede a analizar este apartado.

Para Hopmans (2001), la amplitud es un régimen que caracteriza la variación anual de un parámetro en función de su media. Está evaluado como la diferencia entre el valor máximo y mínimo registrado, en un lugar y durante un determinado periodo de tiempo que puede ser hora, día, mes y año (Jeréz, 2016).



Para el presente caso de estudio, se considera la amplitud de todo el tiempo de monitoreo en cada estación. Para Chulco, Tixán y Ucubamba 17 meses y para Labrado 8 meses.

2.1.4.5 Variación Geográfica

Un Diagrama de Hovmoller es una forma usual de trazado meteorológico tridimensional. Los ejes son típicamente la longitud y latitud (eje de las abscisas o eje X) y el tiempo (ordenada o eje Y), con el valor de algún campo, representado por el color o el sombreado. Se utiliza para estudiar las características de propagación de diferentes campos atmosféricos u oceanográficos. En ese sistema coordenado, se ilustra la evolución temporal de una variable, en contornos y/o sombrados (Julca Bocanegra, 2012).

En esta tesis se presenta una evaluación meteorológica de una cuenca de montaña, en un rango de elevación de (2425 a 3434 m. s.n.m.) 1009 m. Para la ilustración se considera en el eje X las altitudes de las redes meteorológicas y en el eje Y los meses de monitoreo, plasmando el valor promedio mensual de cada variable, a excepción de la precipitación y evapotranspiración, que son resultados de la agregación mensual.

Establecer el comportamiento de las variables a largo del tiempo de estudio, y su comparación, entre las redes de monitoreo proporciona niveles dinámicos similares, diferentes, identificación de anomalías y ciclos en cierto tiempo.

2.1.4.4. Distribución y Comportamiento Horario Mensual

La representación gráfica en esta sección, es parecida al gráfico de Hovmoller, descrito en la sección **2.1.4.3**, con la variante que en el eje x está representado por la hora local y, en el eje y los meses de monitoreo. La gráfica de cada parámetro es individual para cada estación, en las mismas unidades y escala.

La serie de datos usada es resultado de los promedios de la misma hora, durante cada día del mes, con excepción de la precipitación que se realiza la agregación. Este apartado facilita el entendimiento del comportamiento del ciclo diario de cada variable, durante el tiempo de monitoreo.



Con este conjunto de ilustraciones, se logrará un análisis estratificado de toda la cuenca hidrográfica en función de un indicador (horas promedio día) de cada mes de estudio.

2.1.4.5. Análisis de Correlación espacio- temporal

En meteorología, el análisis bivariado, permite examinar si existe asociación estadística entre dos variables. La estadística proporciona los métodos (Pruebas de significancia) para determinar si la asociación o diferencia observada entre los grupos es o no estadísticamente significativa.

Prueba de Significancia

Es un procedimiento que facilita decir si una hipótesis nula es rechazada o aceptada.

Generalmente se considera un nivel de significancia igual o menor al 5%.

$$\alpha = 0.05$$

Si el valor-p es menor o igual que α entonces se rechaza la Hipótesis nula. Esto significa que es poco probable o improbable que en un proceso al azar haya diferencias observadas. Por consiguiente, existe asociación estadística entre las variables que se están comparando (Carvajal, 2010).

Correlación lineal de Pearson

La medida de asociación lineal entre dos variables, se encuentra exactamente a lo largo de una línea recta, con pendiente positiva $r = 1$; dicha medida es conocida como correlación lineal de Pearson Helsel & Hirsch (2002). La r de Pearson es invariante a cambios de escala del parámetro estudiado. Está definido por:

Ecuación (1) Cálculo de r de Pearson

$$r_{xy} = \frac{\sum ZxZy}{N}$$

Fuente: Helsel & Hirsch (2002). **Realizado por:** Autora

Donde:

z_x = Covariancia de los valores de x

z_y = Covariancia de los valores de y

N = Número de datos

Para emplear de forma práctica la magnitud de r , como un indicador de grado de correlación o asociación entre las variables, se presenta la siguiente **Tabla 5**.

Tabla 5. Correlación lineal entre dos variables.

Valores de r	Tipo y grado de correlación
-1	Negativa perfecta
$-1 < r \leq -0.8$	Negativa fuerte
$-0.8 < r < -0.5$	Negativa moderada
$-0.5 \leq r < 0$	Negativa débil
0	No existe
$0 < r \leq 0.5$	Positiva débil
$0.5 < r < 0.8$	Positiva moderada
$0.8 \leq r < 1$	Positiva fuerte
1	Positiva perfecta

Fuente: Hurtado, Nieves, Sánchez, & C.(2009) **Realizado por:** Autora

Matriz de Correlación

La matriz de correlación es una matriz conformada por n filas y por n columnas. Además, es una matriz simétrica; es decir, que los valores de los elementos a_{ij} de la matriz, es el mismo valor en los elementos a_{ji} de la matriz.

La matriz de correlación nos explica como se encuentra relacionada cada una de las variables con otra variable. Su diagonal siempre contendrá el valor de 1. Si tiene un valor 0, nos indicará que no tiene ninguna relación con esa variable, por lo



menos no lineal; es decir, pueda que tenga una relación cuadrática o de otro grado.

Cuando la correlación es positiva, esto nos indica que su proyección de la regresión lineal va a tender a crecer conjuntamente con la contra variable.

Cuando la correlación es negativa, esto nos indica que su proyección de la regresión lineal va a tender a decrecer, conjuntamente con la contra variable. (Ávila, 2012).

Regresión

La recta de regresión describe los cambios en los valores medios de la variable respuesta (Y), a medida que cambian los valores de la variable explicativa (X). A esta recta se la denomina recta de regresión de Y sobre X. El coeficiente de correlación mide la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, sin realizar la distinción entre variable explicativa y variable respuesta. (Hurtado et al., 2009).

Con estos principios, se trabaja los procesos de correlación para:

1. Crear una matriz de correlación, con todas las variables en cada estación.
2. Todas las variables con unidades de medidas iguales.
3. Todas las variables con unidades de medidas iguales, en función de la altura.

Los datos para esta sección están a escala diaria.

2.1.4.6. Comportamiento Meteorológico en un Evento de Lluvia

Los gráficos de series de tiempo, muestran observaciones en el eje Y, con respecto a intervalos de tiempo, con igual separación en el eje X, o viceversa. Las gráficas de series de tiempo, con frecuencia, se utiliza para examinar variaciones diarias, semanales, trimestrales o anuales; o efectos antes y después de un cambio de proceso; son especialmente útiles para comparar patrones de datos de diferentes grupos. (Minitab.Inc, 2016).



Para Pabón, Eslava, & Gómez (2001), la temperatura y la precipitación son las variables más usadas y sintetizan el clima de una región. Por dicha razón, se seleccionó los eventos de lluvia destacados en la zona de estudio, con el objetivo de observar la dinámica de las otras variables monitoreadas, en función de dicho evento.

Se graficó una sección de seis horas antes y seis horas después del evento de lluvia, con datos monitoreados cada cinco minutos, para precisar el comportamiento de las variables meteorológicas. Este análisis se realiza para las estaciones Chulco, Tixán y Ucubamba; para El Labrado no se puede efectuar esta indagación porque su monitoreo de datos es horario. Se toma dos eventos notorios, en la micro cuenca baja – Ucubamba, con fechas **28/03/2015 23:25** y **09/11/2014 16:20**. Las ilustraciones son individuales de cada variable en el mismo rango de tiempo, en donde en el eje Y, está simbolizado su magnitud y en el eje X, el tiempo.

2.2 Análisis de correlación espacio-temporal de las variables meteorológicas con respecto a datos de reanálisis

2.2.1. Equipo

El proyecto de la ejecución de los reanálisis, del Centro Nacional de Predicción Ambiental y el Centro Nacional de Investigación atmosférica NCEP/NCAR, comenzó en 1991, con un registro de datos oficiales, como consecuencia del proyecto del Climate Data Assimilation System (CDAS). La idea básica del proyecto de reanálisis es usar un sistema de análisis-pronóstico, en estado “congelado” y realizar asimilación de datos, usando datos del pasado, utilizando el satélite NRR MSLP Gareth (1982); inicialmente fue desde 1957, hasta el presente y posteriormente se extendió en el pasado hasta 1948 Kalnay et al, (1996). Además, el mismo sistema de análisis-pronóstico, en estado “congelado”, es usado en el presente para actualizar y continuar con la asimilación de datos (CDAS). El sistema de reanálisis posee 3 módulos principales, éstos son: proceso de codificación de datos y control de calidad, asimilación de datos con un sistema

de monitoreo automático, y el módulo de almacenamiento. El termino congelado hace referencia al monitoreo en instantáneo.

2.2.2. Datos

Los datos utilizados para el presente estudio, corresponden a los datos reticulares desarrollados mediante el proyecto “Reanalysis”, del Centro Nacional de Predicción Ambiental y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCEP/NCAR), de la Administración Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos (NOAA), que poseen las siguientes características (**Tabla 6**).

Tabla 6. Características de los datos de Reanálisis

Característica	Descripción
Cobertura temporal	4 veces por día (0, 6, 12 y 18hrs)
Cobertura espacial	Global
Nivel	<p>17 niveles de Presión: vientos horizontales, omega, la altura geopotencial¹⁰, la humedad específica / relativa, la vorticidad¹¹ y divergencia¹².</p> <p>28 niveles sigma: Vorticidad divergencia, la temperatura, la humedad específica, vientos horizontales, presión superficial, la altura geopotencial. En los niveles 0.44-0.72 se encuentra el "mejor" índice de elevación de 4 capas.</p>
Variables independientes (Grilladas)	<p>2,5 grados de latitud x 2,5 grados rejilla global de longitud (144x73)</p> <p>90N - 90S, 0E - 357.5E</p>
Disponibilidad de Datos	1948-Presente

¹⁰ **Altura geopotencial:** es la altura expresada en metros geopotenciales, en lugar de geométricos y se diferencia de éstos en que, para calcularla, se tiene en cuenta la aceleración de la gravedad, cuando ésta es de 9,8 m/s-2, en teoría coinciden.

¹¹ **Vorticidad:** en meteorología es usada para cuantificar la rotación de un fluido o la masa de aire.

¹² **Divergencia:** Separación progresiva de dos o más líneas o superficies.



Descarga de Datos	2014/08/01 – 2015/12/31
Formato del conjunto de datos	PSD estándar Netcdf ¹³

Fuente: Kalnay et al (1996) **Realizado por:** Autora

Los datos descargados tienen un formato .nc y una resolución global muy amplia de 2.5 grados. Para obtener un valor representativo en nuestra cuenca, se promedió las coordenadas de latitud y longitud, de las cuatro estaciones meteorológicas y con la ayuda del ArcGis, se interpoló ese punto en la grilla, obteniendo los datos útiles para la zona. El seguimiento de la interpolación (interpolación espacial), en el ArcGis, se encuentra en (ArcGis Resource Center, 2016).

La interpolación espacial es el proceso que utiliza puntos con valores conocidos, para estimar valores desconocidos en otros puntos. Se puede crear una vista de tabla, utilizando cualquier variable con al menos una dimensión. Los campos de la vista de tabla se rellenan con los datos de las variables seleccionadas. El tipo del campo se determina, en función del tipo de datos Netcdf (ArcGis Resource Center, 2016) y (Exline et al., 2006).

ArcGis tiene incorporado en su sistema, el método de interpolación IDW; los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación, de tal manera que la influencia de un punto, en relación con otros, disminuye con la distancia, desde el punto desconocido, que se desea crear (ArcGis Resource Center, 2016) y (Exline et al., 2006).

¹³ **Netcdf:** (Network Common Data Form) es un formato de archivo para almacenar datos científicos multidimensionales (variables) tales como temperatura, humedad, presión, velocidad del viento y dirección. Cada una de estas variables se puede mostrar, a través de una dimensión (como el tiempo).



2.2.3. Métodos

2.2.3.1. Análisis de Condiciones Superficiales

Un meteograma es un gráfico de Meteorología Operacional, es decir, una ilustración que manifiesta el monitoreo de las variables medidas en su conjunto. Esta ilustración se puede graficar en cualquier rango de tiempo, desde una hora hasta un año. Se utiliza generalmente para visualizar el estado actual de la atmósfera o para modelos de predicción.

En este estudio, se diseñó un meteograma, que contribuye con una visión general del comportamiento de los datos de reanálisis en la superficie. Los datos descargados son promediados mensualmente, para lograr una mejor interpretación.

2.2.3.2. Análisis de Correlación espacio- temporal de las variables meteorológicas con respecto a los datos de reanálisis.

El método aplicado se explicó, a detalle en la sección **2.1.4.5**. En esta apartado, hay dos grupos de correlación. La primera, entre los datos de reanálisis monitoreados y la segunda, entre los datos de reanálisis y las variables de cada estación. La escala para los dos conjuntos de datos en todo este proceso, es cada seis horas.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Análisis Descriptivo de la Meteorología, en una gradiente altitudinal

3.1.1. Cuantificación de la Gradiente Climática Altitudinal

El valor del promedio anual de cada variable meteorológica de la red de monitoreo, a lo largo de la cuenca del río Machángara, dependen de varios factores como: la posición geográfica, incidencia de los océanos: Atlántico y Pacífico y la Amazonia.

Para determinar la gradiente altitudinal de la cuenca del río Machángara, se analizó los gráficos correspondientes a cada parámetro atmosférico.

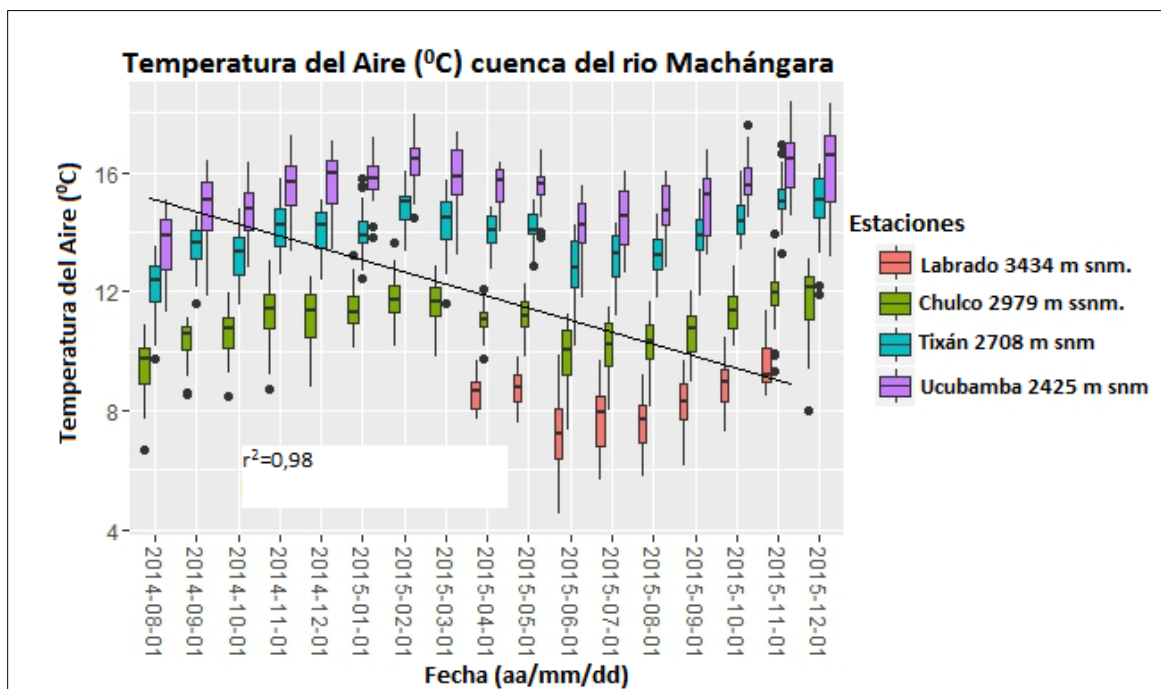


Ilustración 2. Diagrama de Caja o Bigotes Temperatura del Aire

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

En la **ilustración 2**, se demuestra el gradiente térmico que se manifiesta en la cuenca del río Machángara, con un descenso de 0.24°C , al incrementar cada 100 m. de altitud. La causa principal de este fenómeno, conocido como gradiente

vertical de temperatura, es la superficie terrestre, que actúa como un foco calorífico, desprendiéndose del calor recibido por la radiación solar y transmitiéndola a la capa de aire más cercana a ella. Así, cuanto más lejos esté una capa de aire de dicha superficie, más fría estará. Para que esta distancia sea mayor, la presión atmosférica deberá disminuir. La magnitud de este cambio debe ser de aproximadamente 0.65°C , por cada 100m. según (Muñoz, 2010).

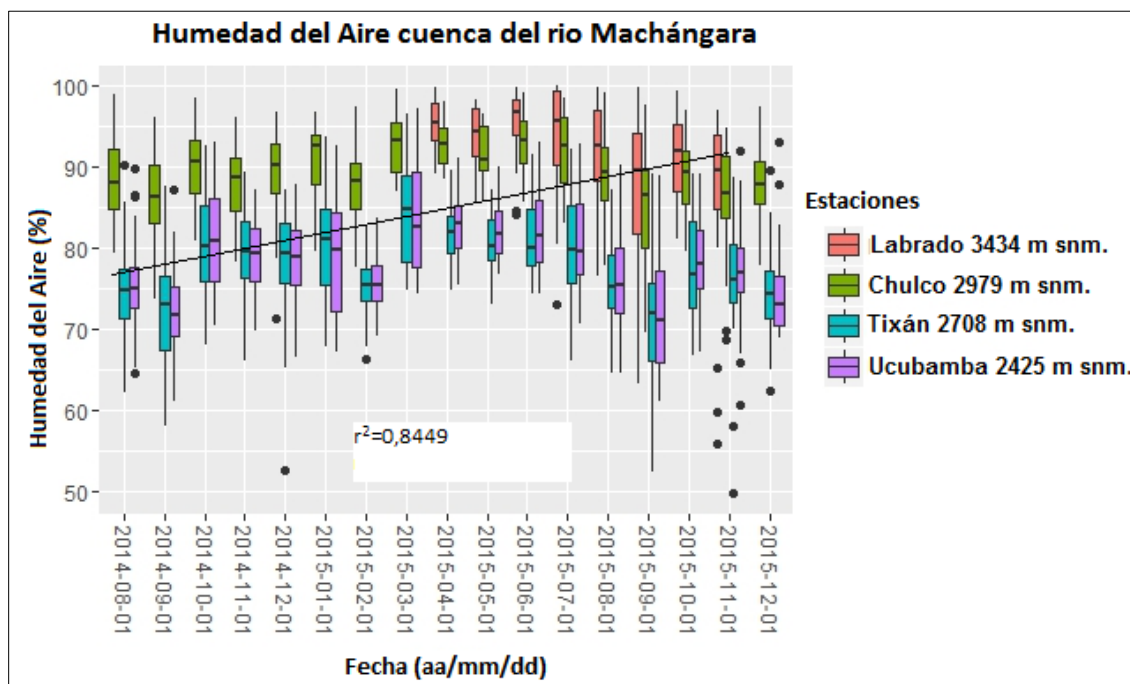


Ilustración 3. Diagrama de Caja o Bigotes. Humedad del Aire

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

En la **ilustración 3**, se denota que el contenido de humedad del agua en el aire, es creciente con la altura; incrementa 0.52% , por cada 100m de altitud, para el caso de estudio. Esto se debe a que el agua contenida en la masa del aire, tiene que subir hasta alcanzar una altura adecuada, en donde la temperatura del aire circundante le permita alcanzar su saturación y pueda condensarse. (Federal Aviation & Administration, 2008).

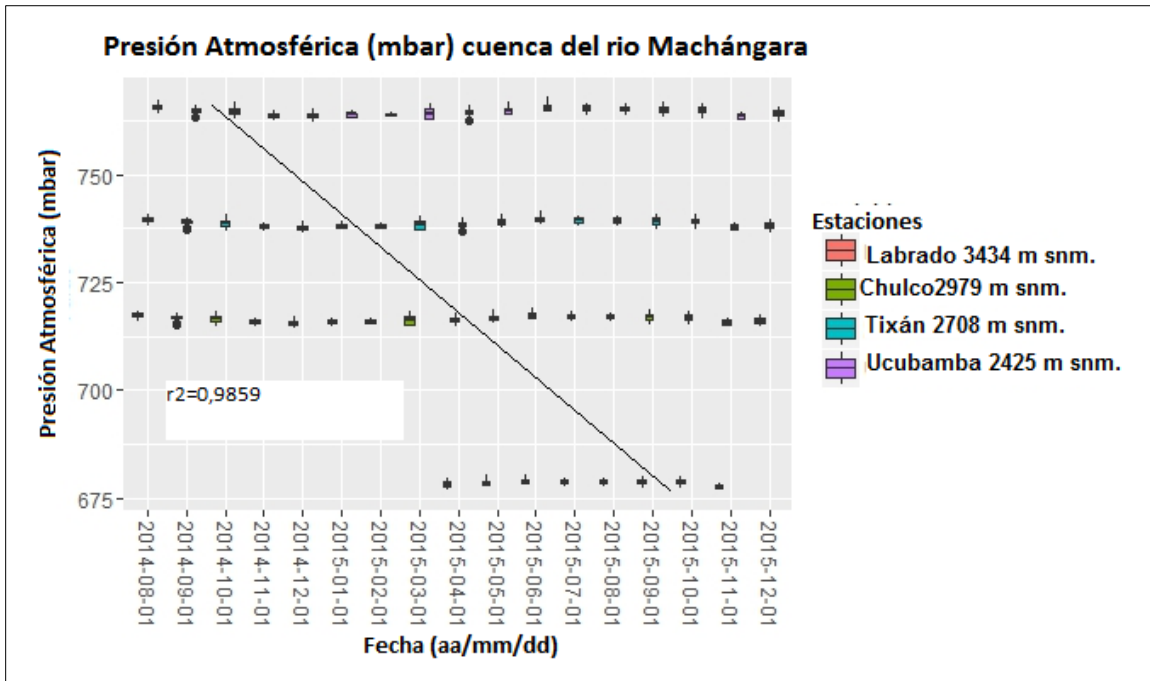


Ilustración 4. Diagrama de Caja o Bigotes. Presión Atmosférica

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

En la **Ilustración 4**, se demuestra como disminuye la presión, cuando se incrementa la altura; para el caso de estudio, disminuye 2.78 mbar, por cada 100m. Resumiendo el concepto, la presión se debe al peso del aire que tenemos encima; mientras más alto estamos, hay menos aire sobre nosotros y se reduce la presión.

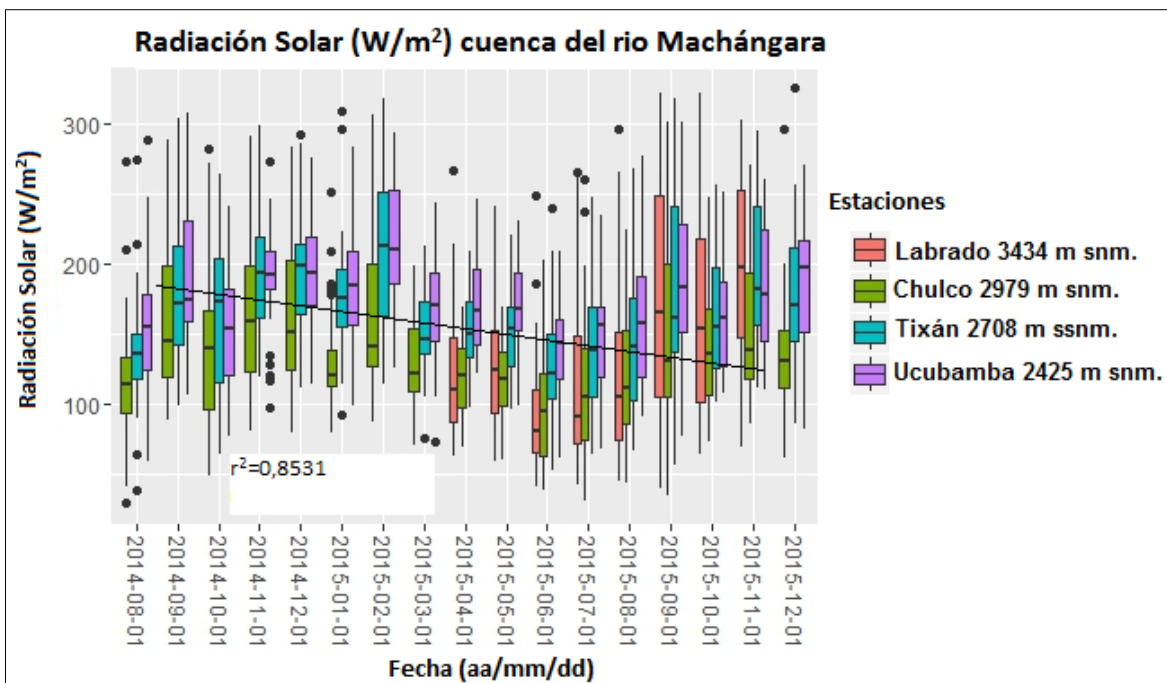


Ilustración 5. Diagrama de Caja o Bigotes. Radiación Solar

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La **ilustración 5**, muestra una disminución de $1.34 W/m^2$ de radiación solar, al incrementar 100 m. de altura. Teóricamente, sucede lo contrario, mientras mayor sea la altitud del lugar, menor es la atenuación de los rayos del sol por la atmósfera, por lo que la radiación UV será mayor que a nivel del mar. Pero la presencia de nubes y el contenido de humedad de la atmósfera hacen que la radiación solar disminuya, ésta es la razón por la cual en nuestro estudio se genera estos resultados (Townsend et al., 2001).

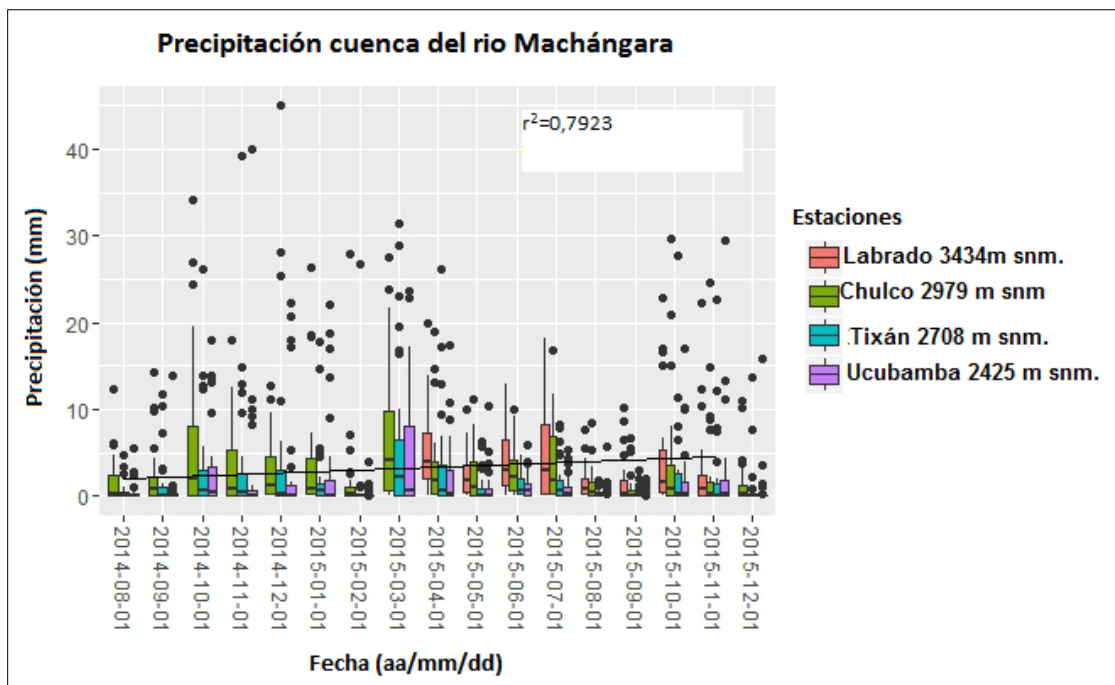


Ilustración 6. Diagrama de Caja o Bigotes. Precipitación

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La **ilustración 6** muestra cómo la precipitación es directamente proporcional a la altura, con 57.71 mm., por cada 100 m.; este valor es determinado en función del Chulco, Tixán y Ucubamba, porque tiene el mismo tiempo de registro. Esto ocurre porque el sistema montañoso y orográfico se constituye como obstáculo entre las masas de aire nubosas; también influye la orientación y velocidad de los vientos u orientación del sol (Eyre, Rushton, Luff, & Telfer, 2005) y (Sanchez, 2008).

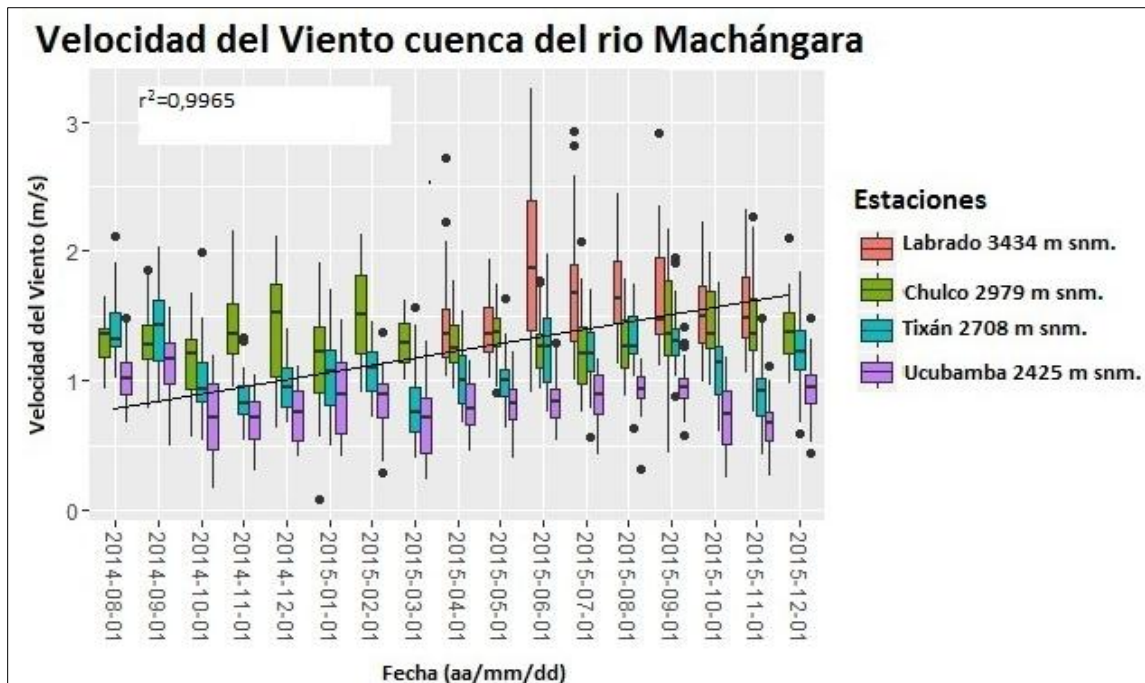


Ilustración 7. Diagrama de Caja o Bigotes. Velocidad del Viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La variación del viento con la altura es proporcional para la zona de estudio es de 0.03m/s por cada 100m. de altura. En la **Ilustración 8**, se puede apreciar que la causa principal se debe a la aspereza de la superficie, causada por terrenos con componentes naturales o antrópicos (Frohlich, 1985).

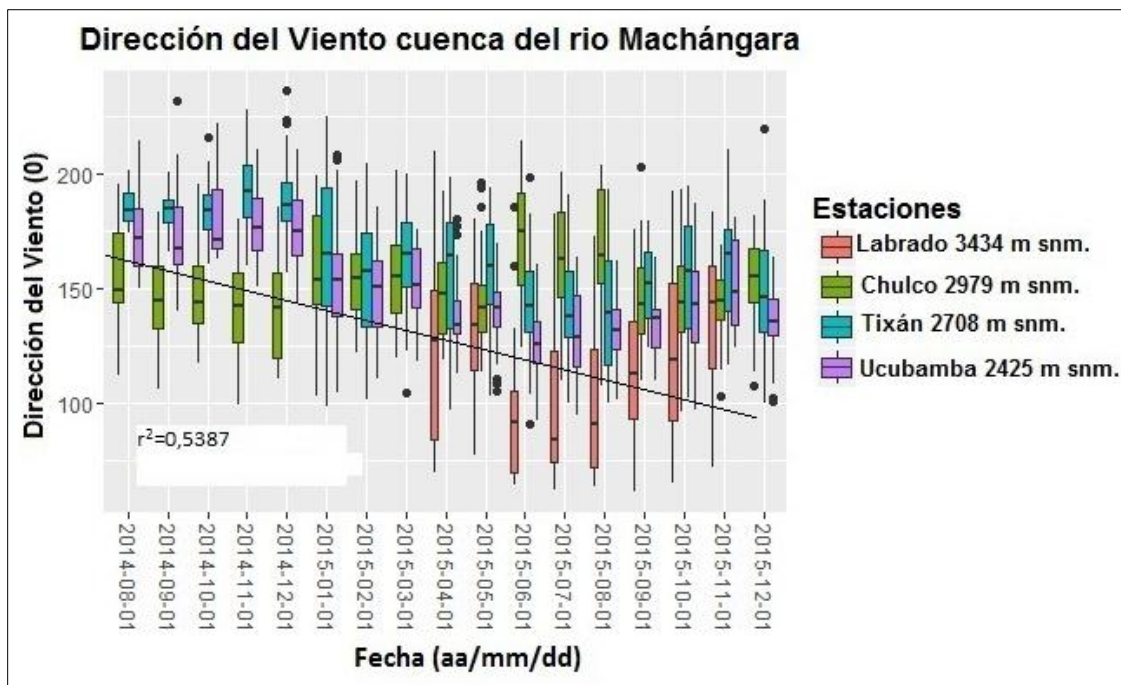


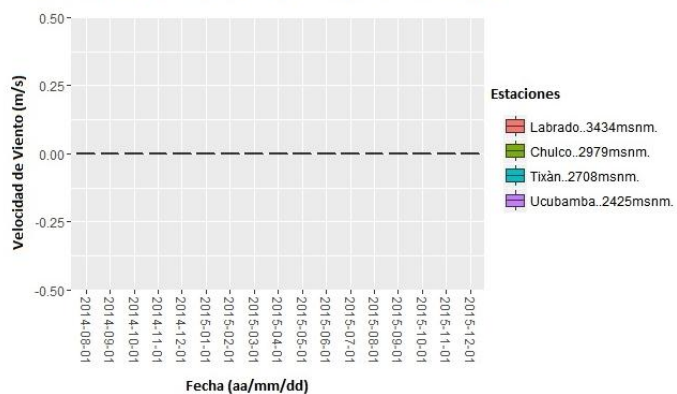
Ilustración 8. Diagrama de Caja o Bigotes. Dirección del Viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

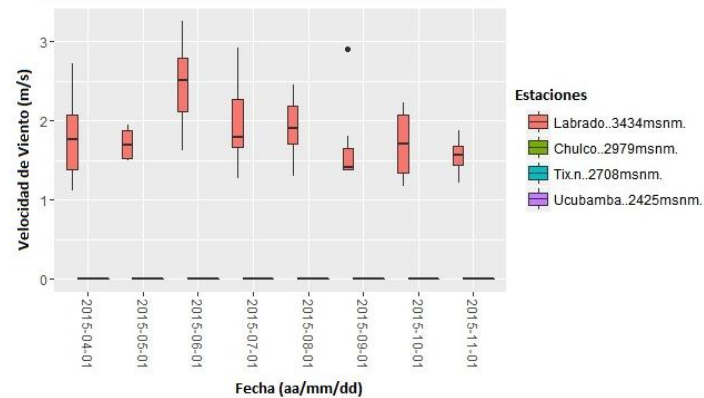
Las **ilustraciones 8 y 9**, revelan la variabilidad de la dirección del viento en función de la altura. Para la estación el Labrado, tiene una dirección de Norte al Este. En Chulco, Tixán y Ucubamba, su distribución es mayor de Este a Sur. Ucubamba y Tixán inciden de Sur a Oeste, reduciendo aproximadamente 1.19° por cada 100m. de altura.

El efecto de la rotación de la tierra produce desviación del viento. En el hemisferio Sur se forma la celda Ecuatorial o de Handley, en donde los vientos provienen del Sur-Este, hasta el Noroeste. (Carramolino, 1994). Pero, en el caso de estudio, la dirección varía, porque por la zona de estudio atraviesa la Cordillera Real.

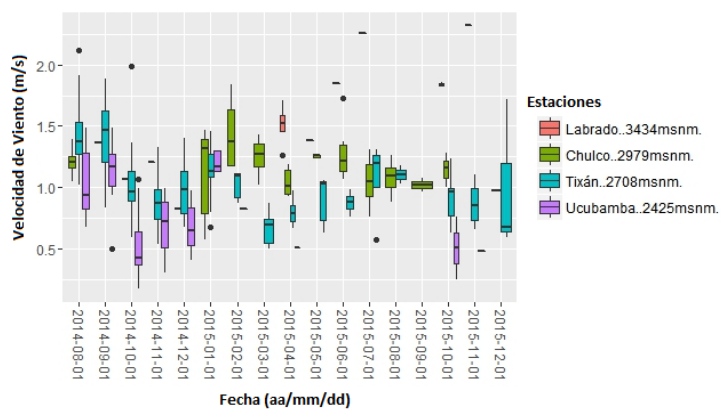
Velocidad de Viento (270-360°) cuenca del rio Machángara



Velocidad de Viento (0-90°) cuenca del rio Machángara



Velocidad de Viento (180-270°) cuenca del rio Machángara



Velocidad de Viento (90-180°) cuenca del rio Machángara

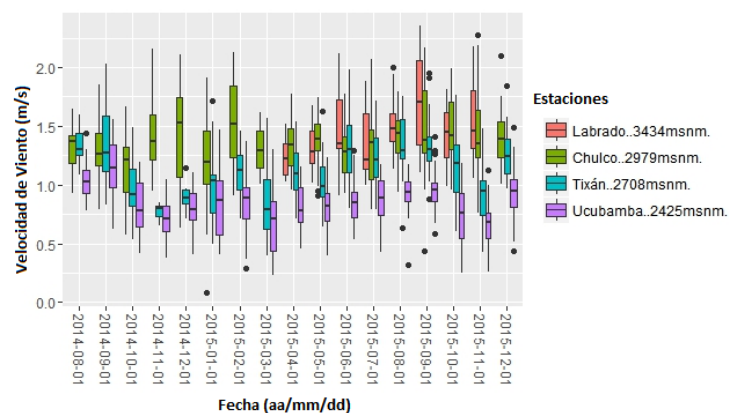


Ilustración 9. Diagrama de Caja o Bigotes. Dirección y Velocidad del Viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

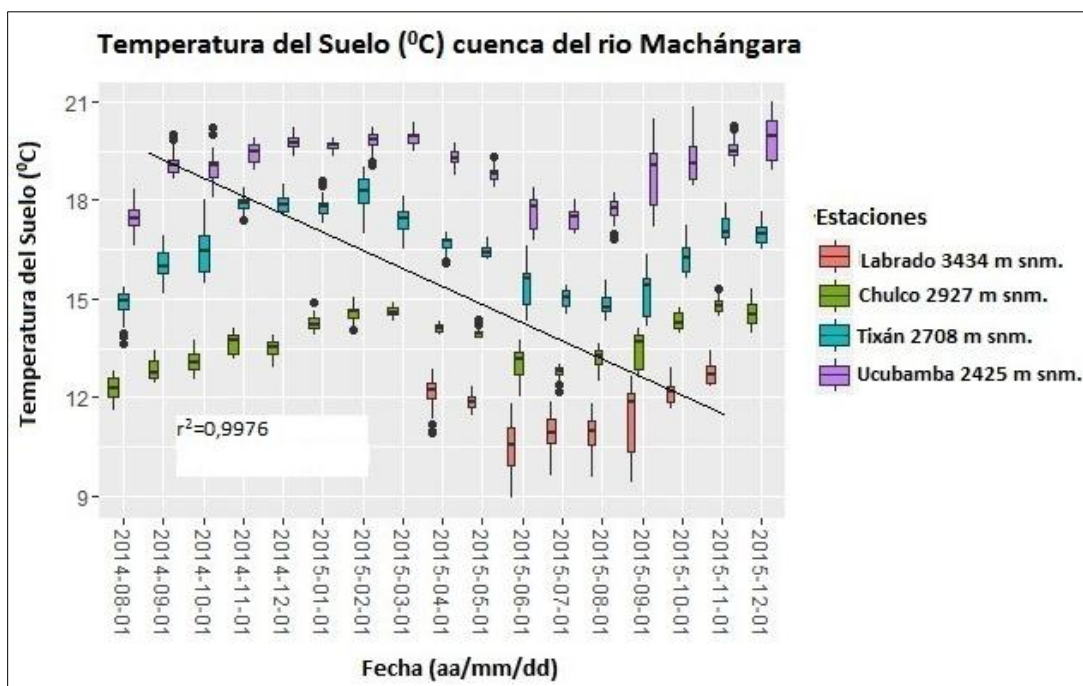


Ilustración 10. Diagrama de Caja o Bigotes. Temperatura del Suelo

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La **ilustración 10**, indica el descenso de 0.25°C , por cada 100m. de elevación en la temperatura del suelo. Está directamente relacionada con la temperatura del aire atmosférico, de las capas próximas al suelo; por dicha razón, la gradiente es parecida. (Ibáñez, 2008).

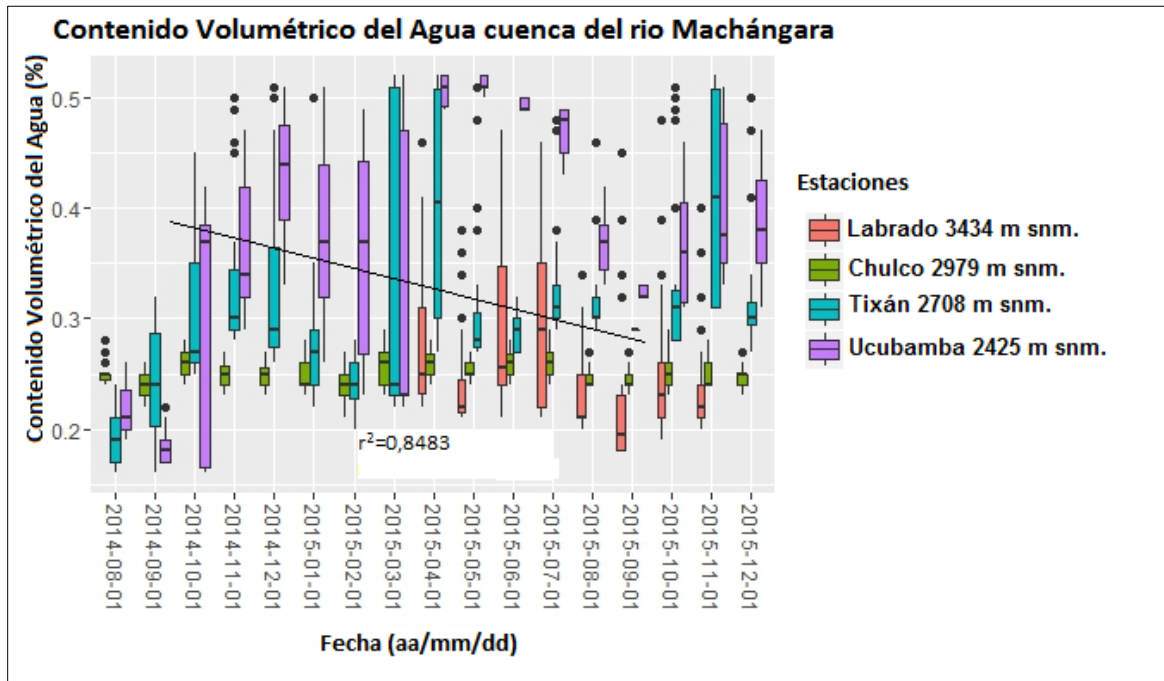


Ilustración 11. Diagrama de Caja o Bigotes. Contenido Volumétrico de Agua en el Suelo

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La **Ilustración 11**, muestra que, por cada 100 m. de descenso, reduce 0.004 % de contenido volumétrico de agua en el suelo. Debido a que en la parte alta de la cuenca su suelo es de origen volcánico y posee mayor cantidad de porosidad con respecto a la zona baja, por lo tanto, su retención es menor. Otra cualidad es el sistema gravitacional al que está sujeta la red de irrigación del suelo, pasando el agua a zonas más profundas. (elriego, 2010) y (Silva Edmundo Acevedo H Herman Silva R, 2000.).

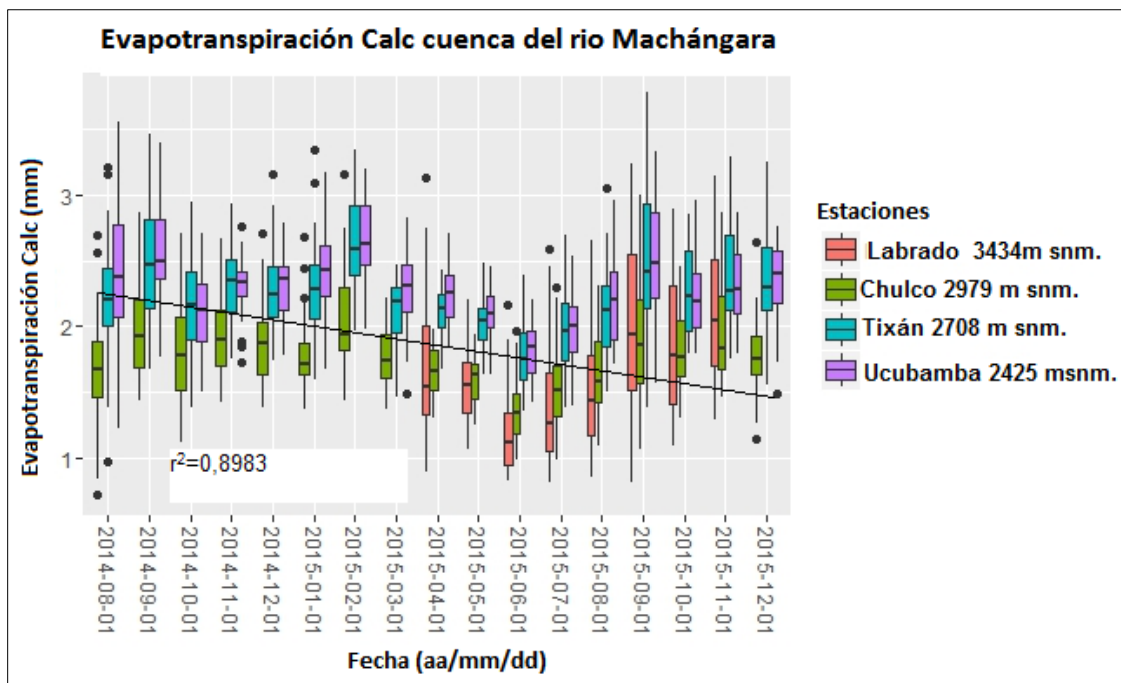


Ilustración 12. Diagrama de Caja o Bigotes. Evapotranspiración calculada

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La **ilustración 12**, enmarca la disminución de 23.18 mm. por cada 100 m. de altura, porque esta variable depende de la temperatura, humedad, radiación y viento. Allen G et al., (2006). Este valor no considera la estación Labrado, porque no tiene el mismo tiempo de monitoreo que las otras estaciones.

Para sintetizar las ilustraciones descritas en esta sección, se elabora la **Tabla 7**, que demuestra los promedios de las variables correspondientes a cada estación, más el valor de la pendiente a 100 m. s.n.m. y 1009 m. s.n.m., que es la altura existente, entre la estación más baja Ucubamba y la más alta del Labrado.

Demuestra que la temperatura del aire, presión atmosférica, radiación solar, temperatura del suelo, contenido volumétrico del agua, dirección del viento y la evapotranspiración calculada decrecen en función de la altura. Por otro lado, la humedad del aire, precipitación y velocidad del viento incrementan sus valores con respecto a la elevación.



Tabla 7. Gradiente altitudinal de la cuenca del río Machángara

VARIABLES	Unidades	ESTACIONES METEOROLÓGICAS				PENDIENTE	
		Labrado (3434) m. s.n.m.	Chulco (2979) m. s.n.m.	Tixán (2708) m. s.n.m.	Ucubamba (2425) m. s.n.m.	1009 m. s.n.m.	100 m. s.n.m.
Temperatura del Aire	$^{\circ}\text{C}$	8,29	10,89	13,86	15,29	-2,39	-0,24
Humedad del Aire	%	91,84	89,45	77,83	78,35	5,21	0,52
Presión Atmosférica	mbar	678,58	716,56	738,69	764,55	-28,00	-2,78
Radiación Solar	W/m^2	139,20	137,75	167,00	174,52	-13,52	-1,34
Precipitación	mm		1529	1084.91	889.5	554	57.71
Temperatura del Suelo	$^{\circ}\text{C}$	11,57	13,71	16,50	18,97	-2,50	-0,25
Contenido Volumétrico del Agua	%	0,26	0,25	0,31	0,38	-0,04	-0,004
Dirección del Viento	Grados	115,43	152,55	163,86	151,52	-11,96	-1,19
Velocidad del Viento	m/s	1,62	1,33	1,12	0,84	0,26	0,03
Evapotranspiración Calculada	mm		922.48	1158.82	1179.36	-128.44	-23.18

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

3.1.2. Amplitud Anual

La amplitud indica el valor diferencial representativo de cada variable, por estación. Se plasma en los gráficos usados en la sección **3.1.1**, esquematizando su proceder en la **Tabla 8**.

Al comparar la amplitud del desplazamiento espacial de la misma variable en términos generales, se obtiene que el rango de diferencia es mínimo. Tixán presenta mayor amplitud en: temperatura del aire, humedad del aire, radiación solar, lluvia y temperatura del suelo. La estación de Ucubamba muestra mayor amplitud en presión atmosférica y el contenido volumétrico del agua, en el suelo, tiene el mismo valor en las estaciones de Ucubamba y Tixán; la velocidad y dirección del viento son mayores en la estación de Labrado.



Tabla 8. Amplitud de las variables meteorológicas en la cuenca del río Machángara

VARIABLES METEOROLÓGICAS	Unidades	ESTACIONES - METEOROLÓGICAS											
		LABRADO			CHULCO			TIXÁN			UCUBAMBA		
		Max	Min	Amp I	Max	Min	Amp I	Max	Min	Amp I	Max	Min	Amp I
Temperatura del Aire	⁰ C	11,3 5	4,50	6,86	13,9 2	6,69	7,23	16,9 3	9,74	7,19	18,3 5	11,3 0	7,05
Humedad del Aire	%	100, 0	55,9 3	44,0 7	99,7 3	68,7 6	30,9 7	96,6 5	49,6 7	46,9 8	97,3 3	60,6 8	36,6 5
Presión Atmosférica	Mb ar	680, 33	676, 76	3,57	719, 23	714, 48	4,75	741, 62	736, 45	5,18	767, 88	762, 17	5,71
Radiación Solar	W/ m ²	322, 22	40,0 8	282, 14	305, 99	29,0 8	276, 91	325, 01	38,5 8	286, 43	307, 87	58,9 6	248, 91
Precipitación	Mm	22,9 0	0,00	22,9 0	34,1 0	0,00	34,1 0	45,0 0	0,00	45,0 0	40,1 0	0,00	40,1 0
Temperatura del Suelo	⁰ C	13,4 1	8,93	4,48	15,3 3	11,6 2	3,71	19,0 0	13,6 4	5,37	20,9 8	16,6 0	4,37
Contenido Volumétrico del Agua	%	0,48	0,18	0,30	0,29	0,21	0,08	0,52	0,16	0,36	0,52	0,16	0,36
Dirección del Viento	Gra	209,	61,4	148,	214,	96,2	118,	236,	91,0	145,	232,	92,6	139,



	d	91	6	45	80	3	58	41	1	40	25	1	64
Velocidad del Viento	m/s	3,25	0,91	2,34	2,27	0,08	2,19	2,12	0,40	1,71	1,56	0,17	1,39
Evapotranspiración Calculada	mm	3,23	0,81	2,42	3,16	0,72	2,44	3,77	0,98	2,78	3,55	1,22	2,33

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

3.1.3. Variación Geográfica

El comportamiento se ilustra a través de las variables atmosféricas, registradas en el área de estudio.

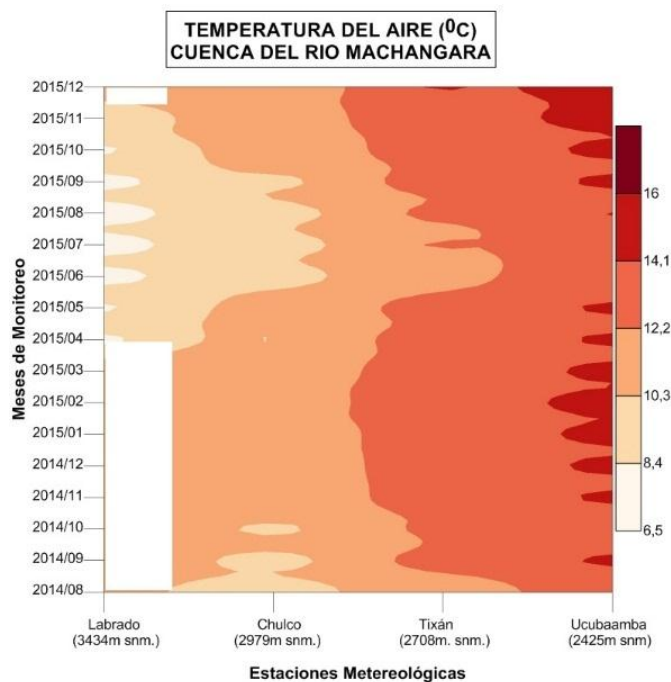


Ilustración 13. Gráfico de Hovmoller Variación Geográfica. Temperatura del Aire

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La dinámica de la temperatura del aire, **Ilustración 13**, es parecida en las cuatro estaciones, señalando que los meses de: junio, julio, agosto y septiembre son los más fríos. El Chulco manifiesta un ciclo frío, en el mes de octubre de 2014.

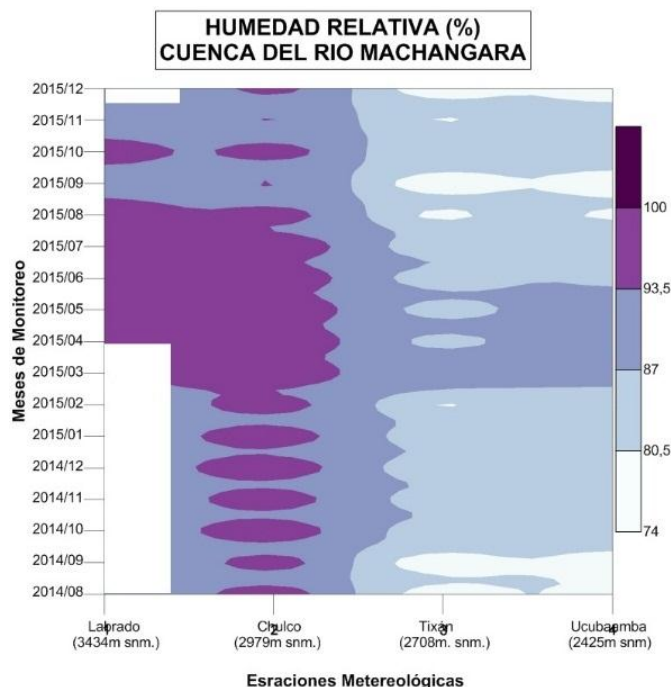


Ilustración 14. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Humedad Relativa

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La humedad del aire, **Ilustración 14**, tiene un comportamiento variado; sus mayores valores son en los meses de: marzo, abril, mayo, junio y julio de 2015, a lo largo de la cuenca de estudio.

La estación del Chulco posee ciclos máximos, en los meses de: agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2014.

Tixán presenta ciclos mínimos, en septiembre y diciembre 2014, enero, junio, julio y septiembre de 2015.

Ucubamba manifiesta ciclos mínimos, en finales de agosto y septiembre, de 2014 y 2015.

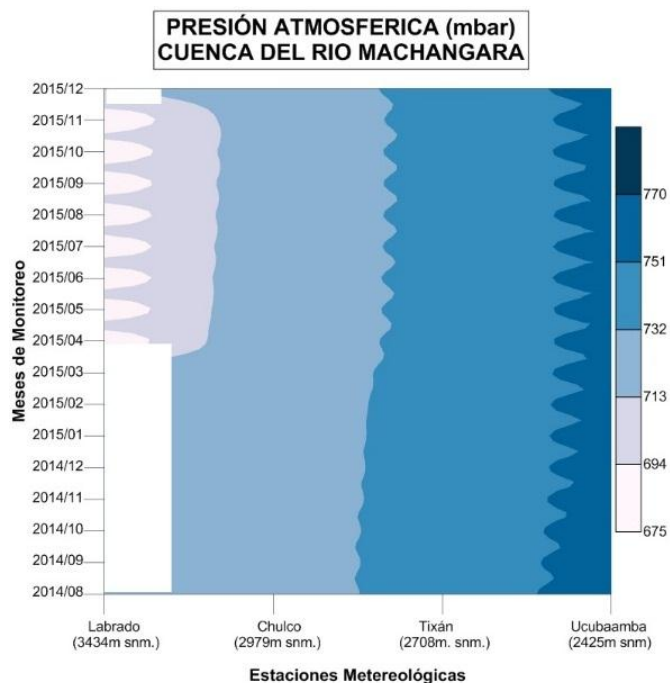


Ilustración 15. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Presión Atmosférica

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autor

El reparto de la presión atmosférica es bastante homogéneo y disminuye al incrementar la altura en toda la cuenca hidrográfica. **Ilustración 15.**

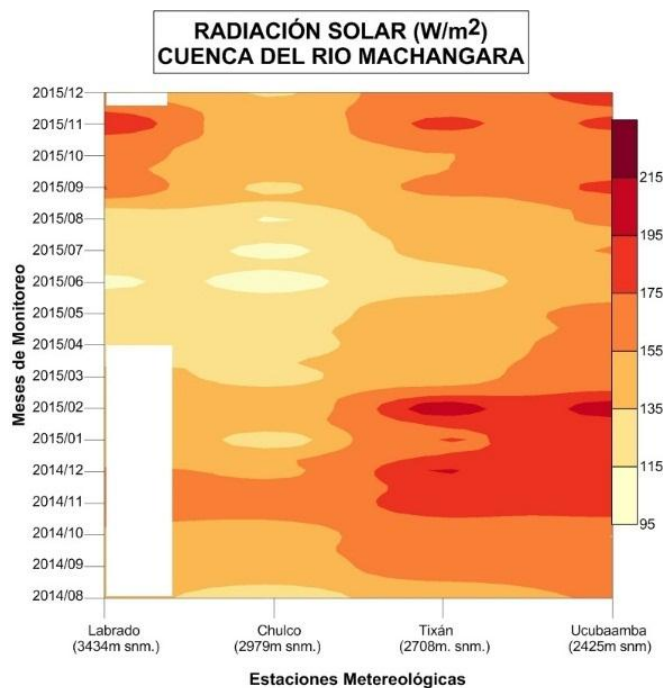


Ilustración 16. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Radiación Solar

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

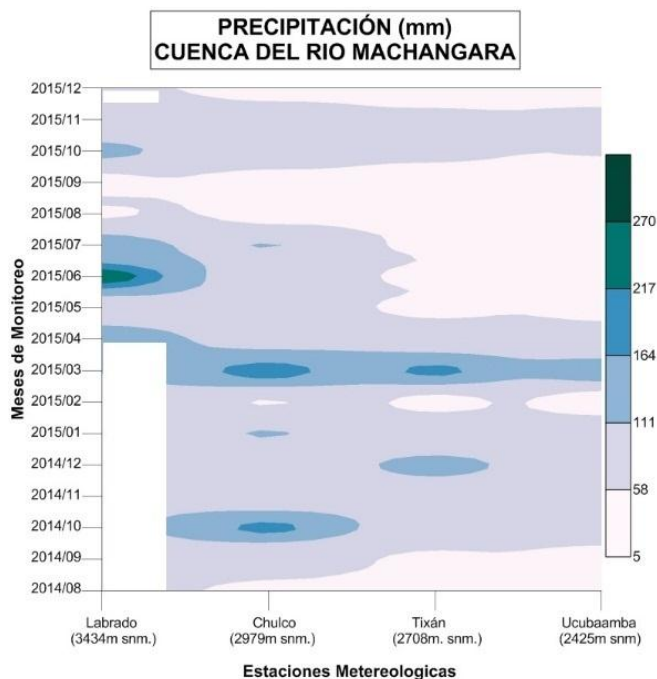
La radiación, **Ilustración 16**, fluctúa considerablemente y no tiene una tendencia clara, pero posee una caída en los meses de: abril, mayo, junio, julio y agosto, de 2015, en toda la cuenca hidrográfica.

Labrado presenta un ciclo agudo, en noviembre de 2015.

Chulco tiene ciclos cortos de baja radiación, en los meses de: enero, junio, julio y septiembre de 2015.

Tixán tiene un ciclo intenso, pero de corta duración en noviembre de 2014 y dos ciclos fuertes, en febrero y noviembre, de 2015.

Ucubamba disfruta de mayor radiación en: febrero, septiembre, noviembre y parte de diciembre de 2015.

**Ilustración 17.** Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Presión Atmosférica

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La cuenca tiene dos secciones bien definidas de precipitación, la primera y la más intensa en marzo y abril de 2015 y la segunda, en octubre noviembre y diciembre del mismo año; también manifiesta una época de sequía, que va aumentando según disminuye la altura; comienza en el Labrado, parte de agosto y septiembre de 2015, continua en Chulco, en agosto y septiembre de 2015, concluyendo en Tixán y Ucubamba, a finales de mayo, hasta septiembre de 2015. Los ciclos fuertes se muestran en Labrado, durante mayo y junio de 2015; en Chulco, durante octubre de 2014 y marzo de 2015; en Tixán, durante diciembre de 2014 y marzo de 2015. Finalmente, hay un ciclo de sequía, en febrero de 2015, que se repite en Chulco, Tixán y Ucubamba. **Ilustración 17.**

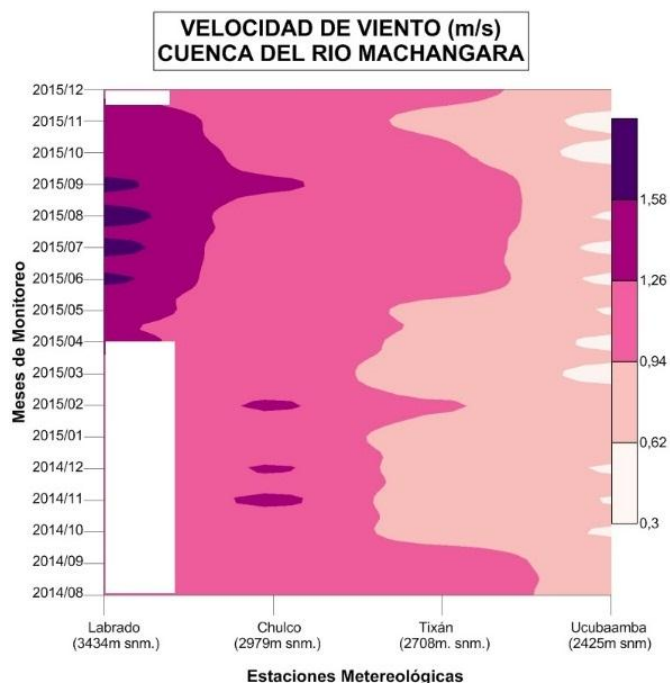


Ilustración 18. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Velocidad del Viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

El comportamiento de la velocidad del viento, **Ilustración 18**, es directamente proporcional a la altura. Labrado tiene picos en: junio, julio, agosto y septiembre de 2015,

Chulco presenta un pico máximo, en septiembre de 2015, con ciclos destacados en noviembre, diciembre de 2014 y febrero de 2015.

Tixán tiene picos en: agosto y septiembre de 2014, a finales de enero, febrero, principios de marzo y junio, hasta octubre de 2015.

Ucubamba, relativamente estable, con vientos más débiles, en: marzo, abril; una pequeña sección en: mayo, junio, julio, agosto, octubre y noviembre de 2015.

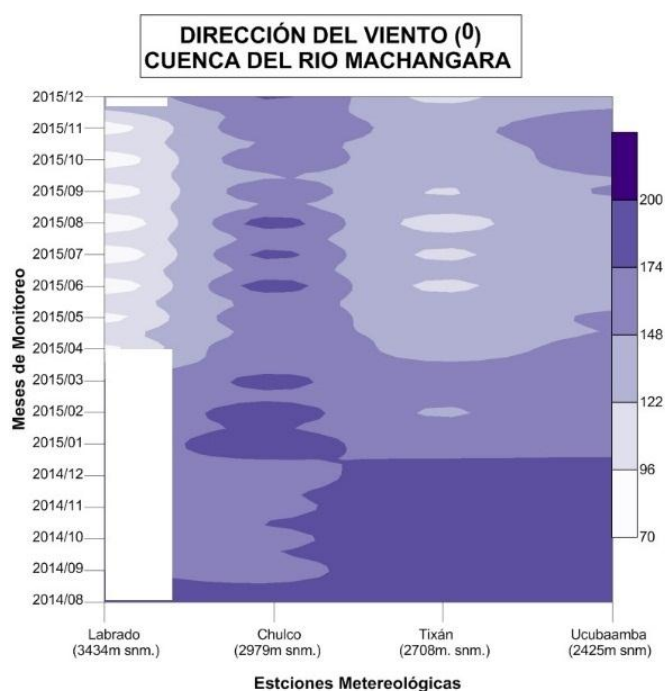


Ilustración 19. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Dirección del Viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La dirección del viento en el área de estudio se manifiesta de la siguiente forma:

En Labrado va de Norte a Este, desde marzo a noviembre de 2015.

En Tixán, el viento se dirige desde el sureste hasta sur, casi en todo el tiempo de monitoreo, exceptuando los meses de: enero, febrero, marzo, junio, julio y agosto, de 2015, que va desde el Sureste al Noroeste.

En Tixán y Ucubamba, durante: agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, de 2015, el viento va desde el Sureste al Noroeste; en enero, febrero y marzo de 2014, el viento sopla, desde el Sureste al Sur, en estas dos estaciones.

En Tixán, desde abril a diciembre de 2015, el viento se dirige al Sur- Este con pequeños ciclos desde el Este al Sur-Este, en junio, julio, agosto y septiembre de 2015.

En Ucubamba, desde mayo a agosto y diciembre de 2015, la dirección va desde el Sureste al Sur y en septiembre, octubre y noviembre de 2015 la dirección va desde el Sureste al Noroeste. **Ilustración 19.**

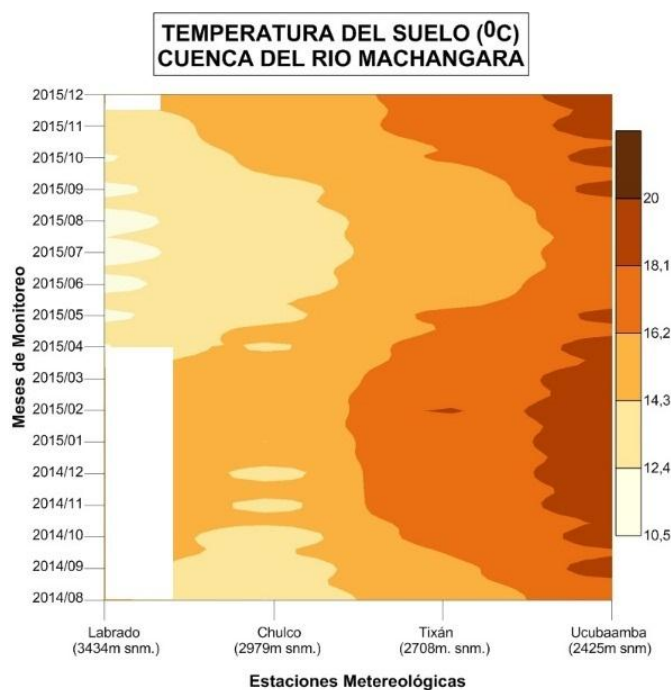


Ilustración 20. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Temperatura del Suelo

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La temperatura del suelo, **Ilustración 20**, tiene el mismo comportamiento que la temperatura del aire. En la **Ilustración 13**, presenta una disminución más

profunda, en: junio, julio, agosto y septiembre de 2015, a lo largo de toda la cuenca.

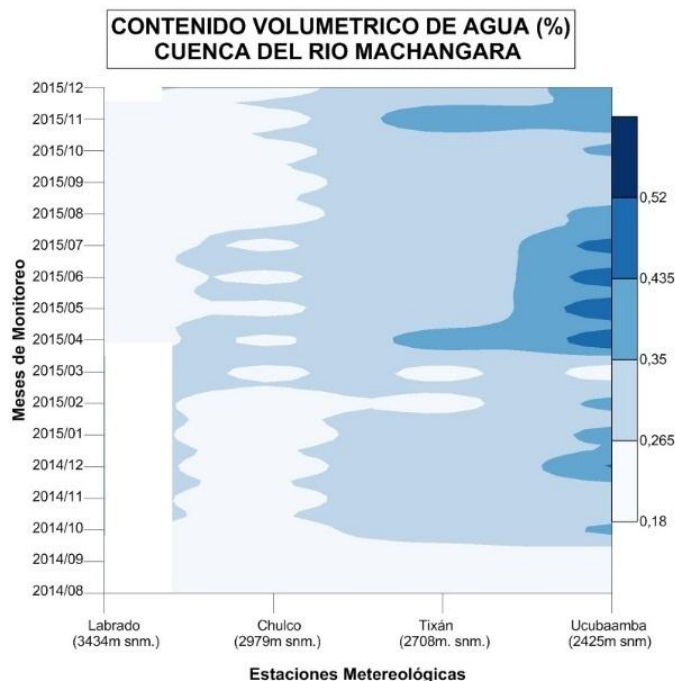


Ilustración 21. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Contenido Volumétrico de agua en el suelo

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

El contenido volumétrico de agua en el suelo, que consta en la **Ilustración 21**, es inversamente proporcional a la altura.

En Tixán, los ciclos fuertes se dan en: marzo y noviembre de 2015. En Ucubamba hay mayor presencia en: diciembre del 2014, abril, mayo, junio y julio de 2015.

En Chulco los valores son constantes.

En Labrado hay una depreciación en: agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015.

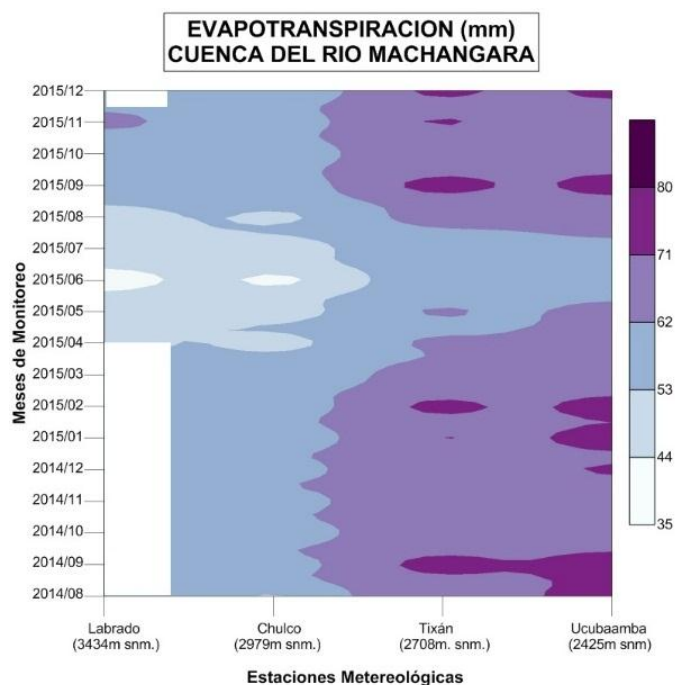


Ilustración 22. Gráfico de Hovmoller: Variación Geográfica. Evapotranspiración

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La evapotranspiración, **Ilustración 22**, decrece al incrementar la altura; hay descenso desde abril, hasta agosto de 2015, en toda la cuenca.

En Tixán presenta ciclos prominentes en: febrero, mayo, septiembre y una pequeña sección en: noviembre y finales de diciembre de 2015.

En Ucubamba, sus valores máximos son en: agosto, septiembre, noviembre, diciembre de 2014; enero, febrero y septiembre de 2015.

3.1.4. Distribución y Comportamiento Horario Mensual

Se indaga esta situación, al interpretar los siguientes gráficos, de cada variable, en las distintas estaciones, en función de un día representativo, por mes de monitoreo.

.

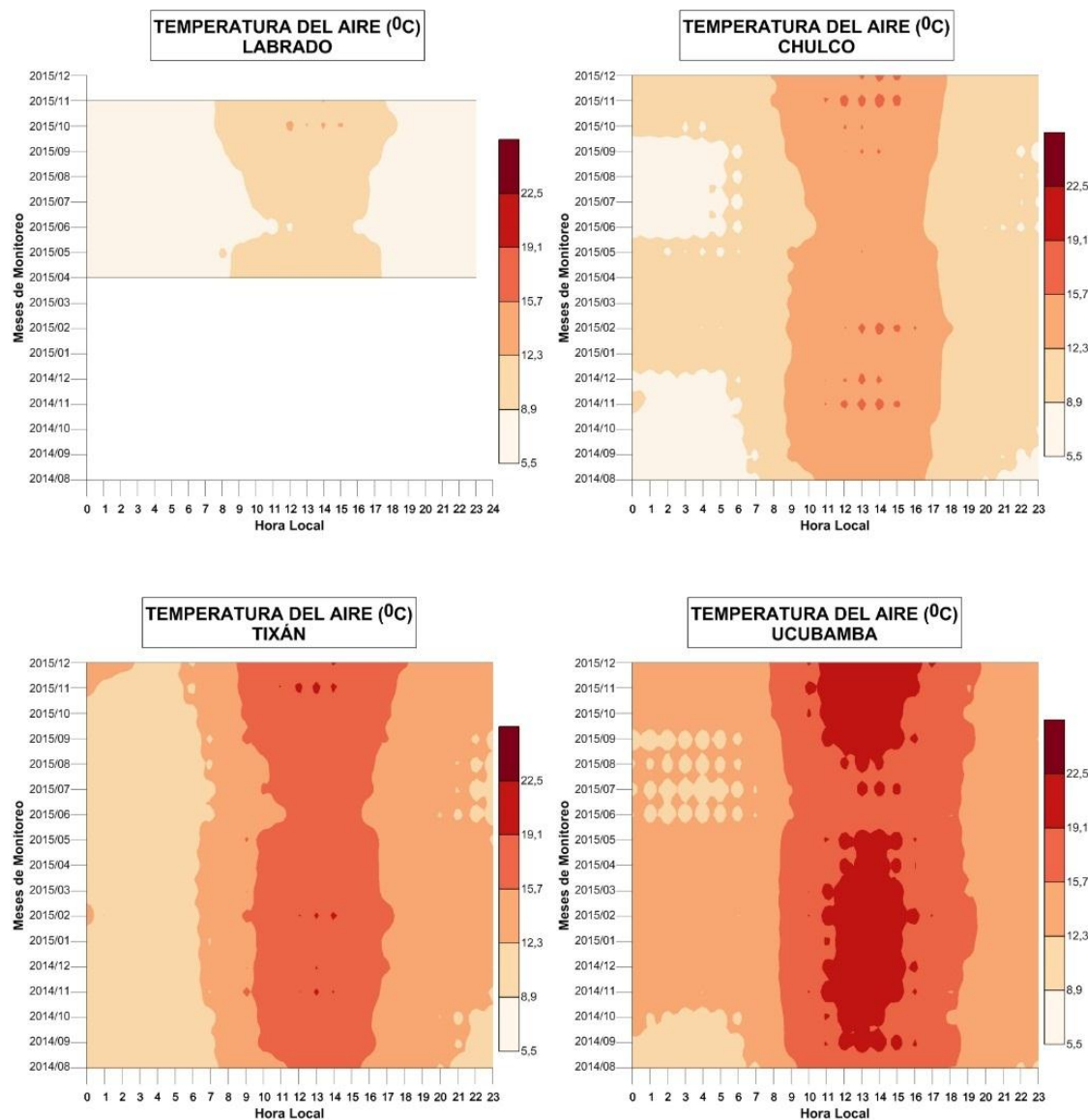


Ilustración 23. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario-mensual - temperatura del aire

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La temperatura del aire, **Ilustración 23**, presenta un ciclo diario monomodal, generalmente en las primeras horas de la mañana, la temperatura desciende a partir de las 9 horas, comienza a incrementar hasta llegar a un pico máximo que se da alrededor de las 11h a 15h, (este rango disminuye en los meses de julio y agosto, para las cuatro estaciones), seguido de un descenso progresivo hasta



llegar a valores mínimos en la noche. Este comportamiento es el mismo, en las cuatro estaciones, con la diferencia que:

En Labrado las horas de la mañana y de la tarde tiene el mismo valor.

Chulco manifiesta madrugadas más frías, desde agosto a diciembre de 2014 y de junio a agosto de 2015.

Tixán demuestra madrugadas más frías que las noches, en todo el tiempo de monitoreo.

Ucubamba tiene madrugadas más frías en: agosto y septiembre de 2014, julio, agosto y septiembre de 2015.

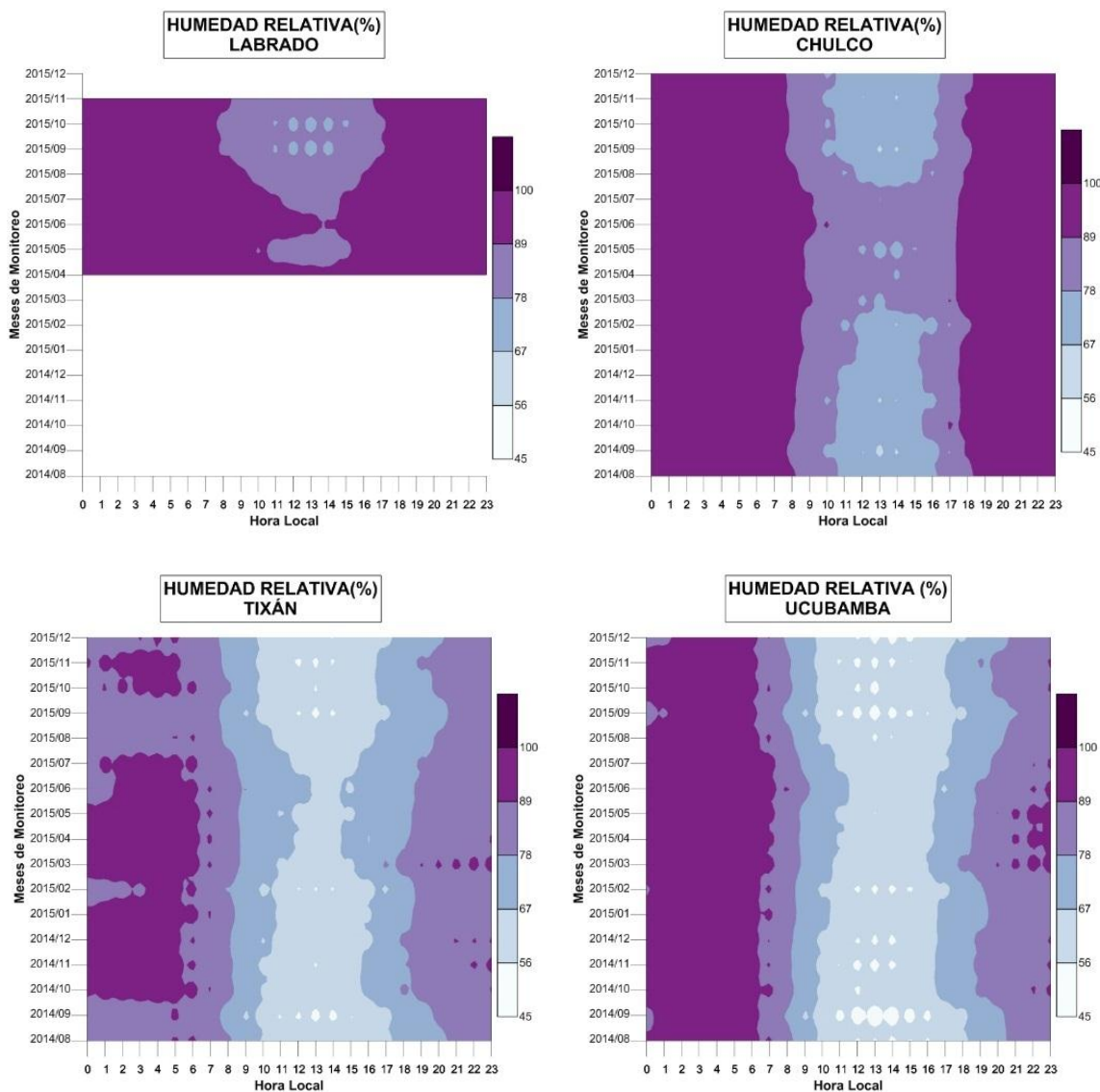


Ilustración 24. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario-mensual humedad del aire

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La humedad del aire, **Ilustración 24**, presenta un ciclo diario monomodal, con mayor influencia en las primeras horas de la mañana y la noche; sus valores comienzan a decrecer alrededor de las 8 h. hasta las 18h, con mínimos entre las 10h. a 15h. (Este rango disminuye desde marzo hasta agosto, en las cuatro estaciones). n Tixán y Ua presentan menor cantidad de humedad en la noche que en las primeras horas del día.

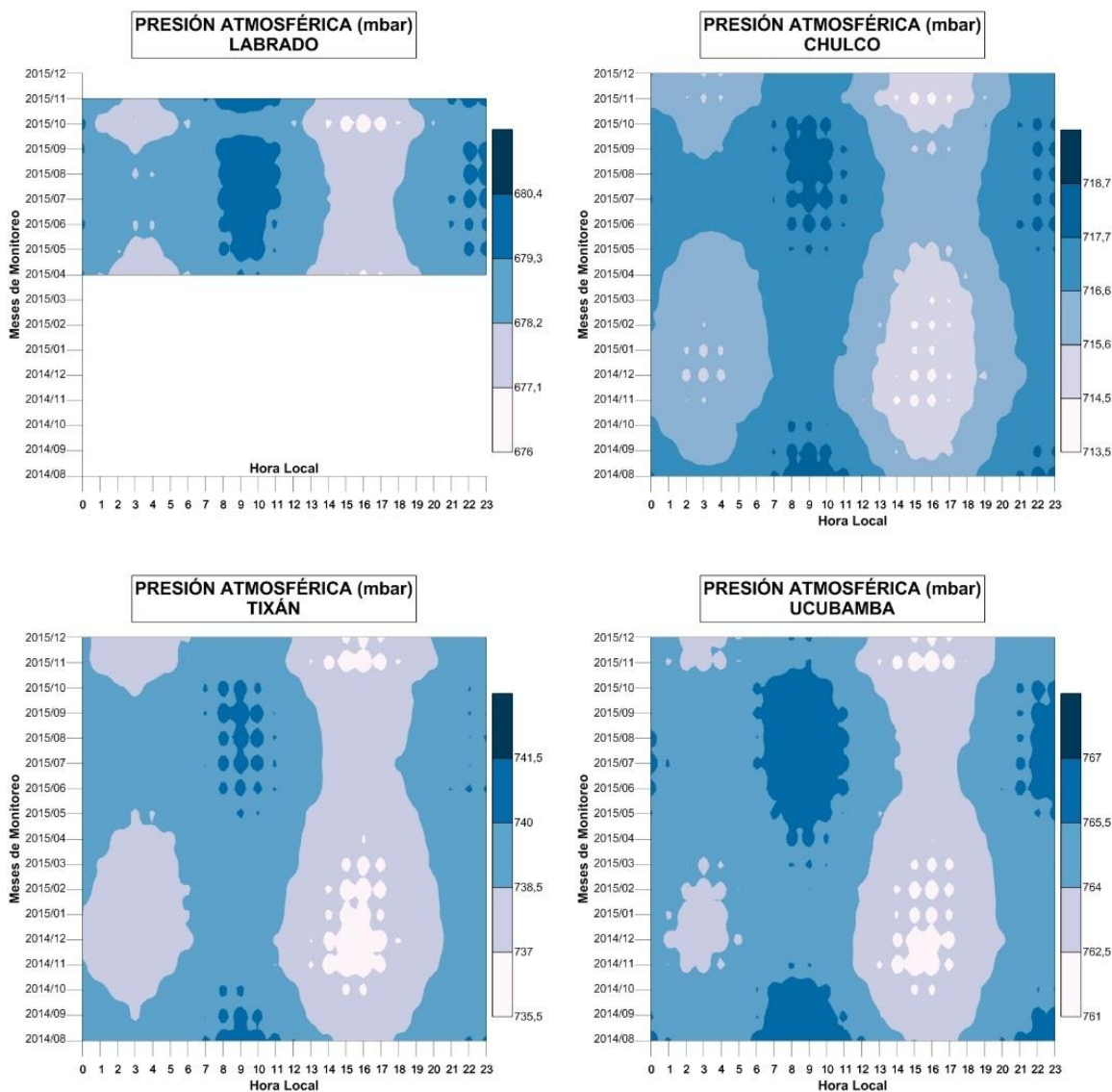


Ilustración. 25 Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario-mensual presión atmosférica

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

Al analizar el comportamiento del régimen diario de la presión atmosférica, **Ilustración 25**, muestra que hay dos ciclos de déficit de presión (comportamiento bimodal), uno a primeras horas de la mañana de 1h. a 4h, seguida de un notable crecimiento desde las 7h. hasta 10h. y finalmente de una nueva reducción, a partir de las 14h. a las 18h. La característica de este ciclo durante el tiempo de monitoreo, es cuando hay mayor caída de presión, el valor máximo no es muy alto

y viceversa. Formando una especie de lagunas o circuitos que comienzan desde agosto y terminan en mayo del año siguiente; esto sucede, de igual forma, en las cuatro estaciones meteorológicas.

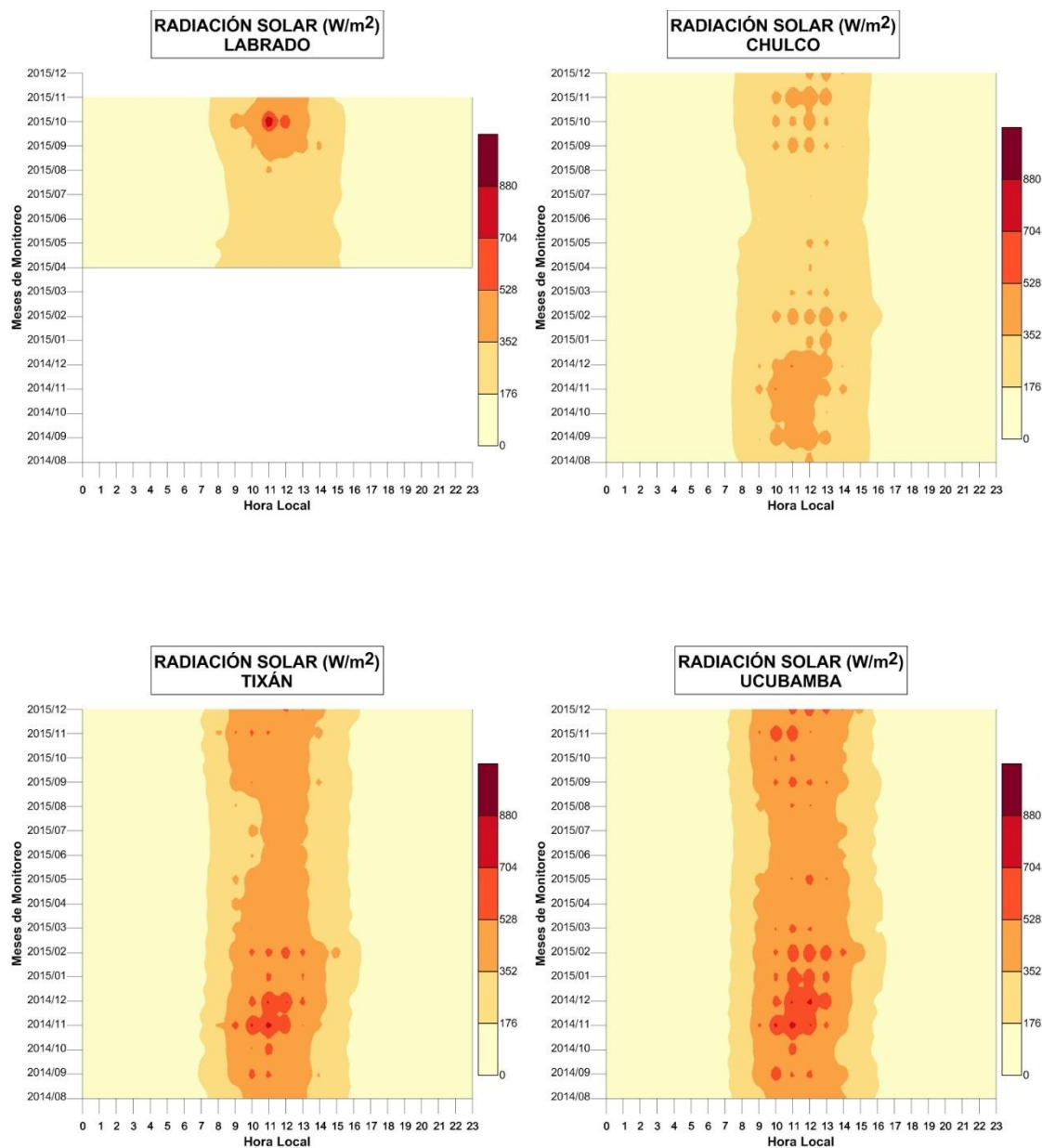


Ilustración 26. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario-mensual Radiación Solar

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

El ciclo diario de radiación, **Figura 26**, es muy similar al de la temperatura del aire (comportamiento monomodal), con valores máximos entre las 10h y las 13h (existiendo una concavidad en: mayo, junio, julio y agosto de 2015, en las cuatro estaciones), valores mínimos en las primeras horas de la mañana y noche, distribuidos homogéneamente en estos dos sectores. Los meses con mayor radiación en toda la cuenca son: octubre noviembre, diciembre de 2014, enero y parte de febrero de 2015.

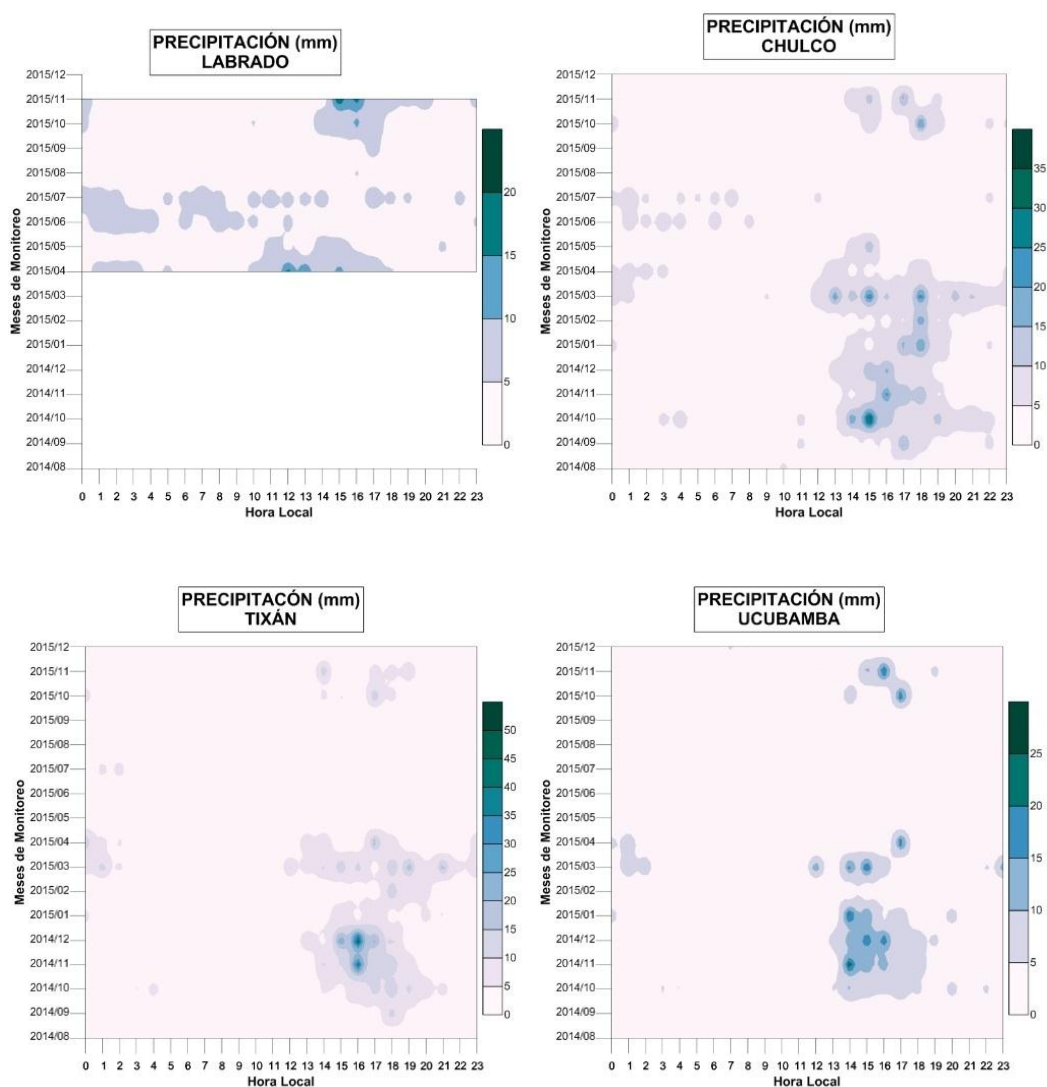


Ilustración 27. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario mensual- Precipitación

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora



La distribución diaria de la precipitación es monomodal, **Ilustración 27**. Se da de forma aleatoria generalmente en las horas de la tarde, con picos máximos desde las 14h. a las 16h. en toda la cuenca.

En Labrado, en el mes de marzo la precipitación tiene un comportamiento diario bimodal, comienza en las primeras horas de la mañana, desde las 0 horas hasta las 3am; existe un intervalo de sequía hasta las 9h30, a partir de este momento comienza nuevamente un evento de lluvia hasta las 18pm. La precipitación en junio y julio, se da generalmente en las primeras horas de la mañana; en septiembre, octubre y noviembre comienza desde las 14h. a las 20h.

En Chulco, Tixán y Ucubamba, de septiembre a diciembre de 2014 y febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, de 2015, la precipitación se presenta desde las 12h. hasta las 22h.

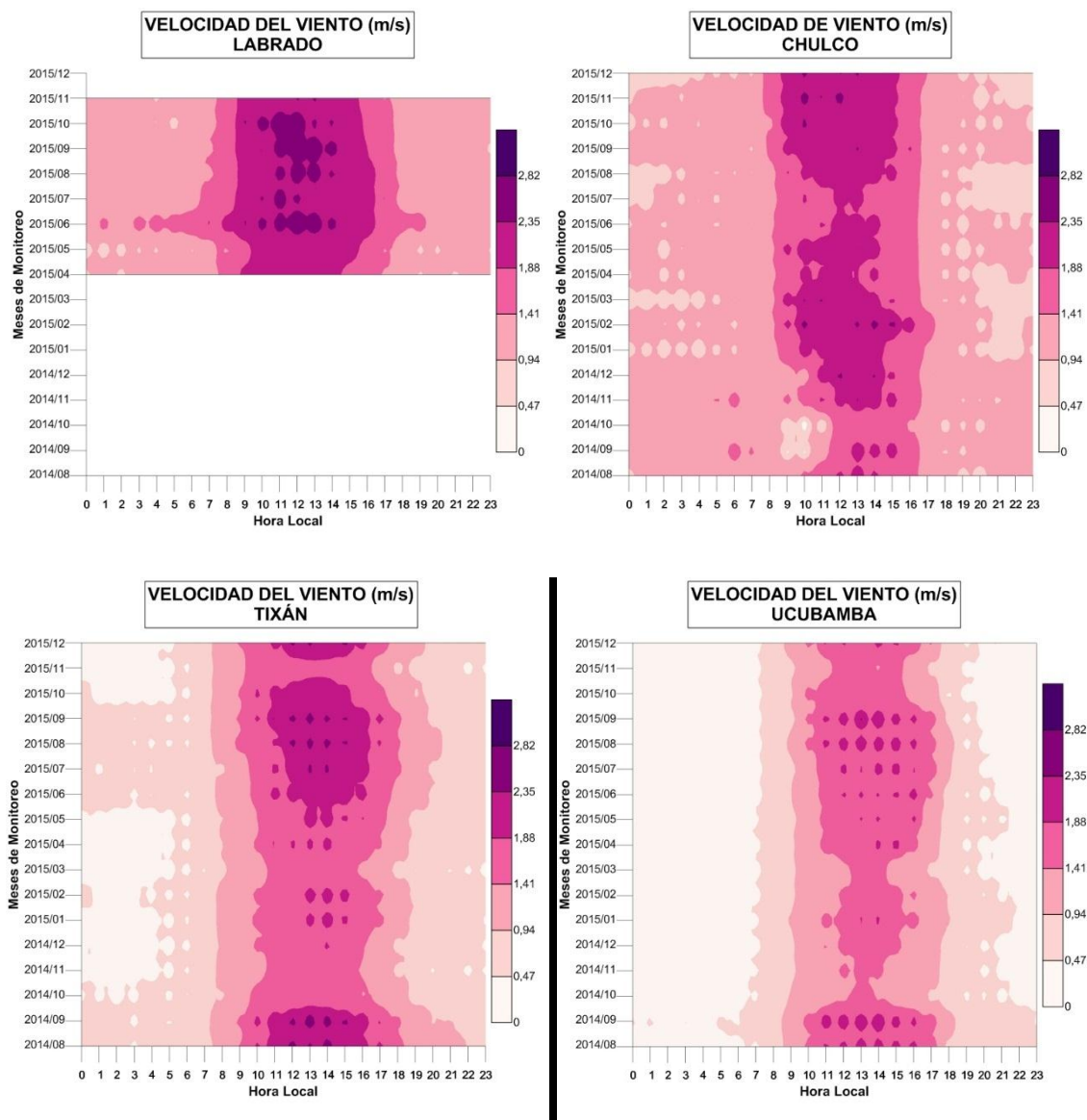


Ilustración 28. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario-mensual, velocidad del viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La distribución diaria de la velocidad del viento es monomodal en toda la cuenca. **Ilustración 28**, sus valores son mínimos en las primeras horas de la mañana y noche; alrededor de las 9h. empieza a ascender, hasta alcanzar un pico al medio día y decrece, nuevamente a las 16h.

Tixán y Ucubamba aumentan su valor al medio día, en: junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 2015, con mayor intensidad en agosto y septiembre de 2014 y 2015. Chulco disminuye su velocidad del viento en: mayo, junio y julio de 2015; en los meses siguientes se da un incremento notable, con mayor fuerza en septiembre.

Labrado presenta una homogeneidad al medio día, con valores más predominantes en: agosto y septiembre de 2015.

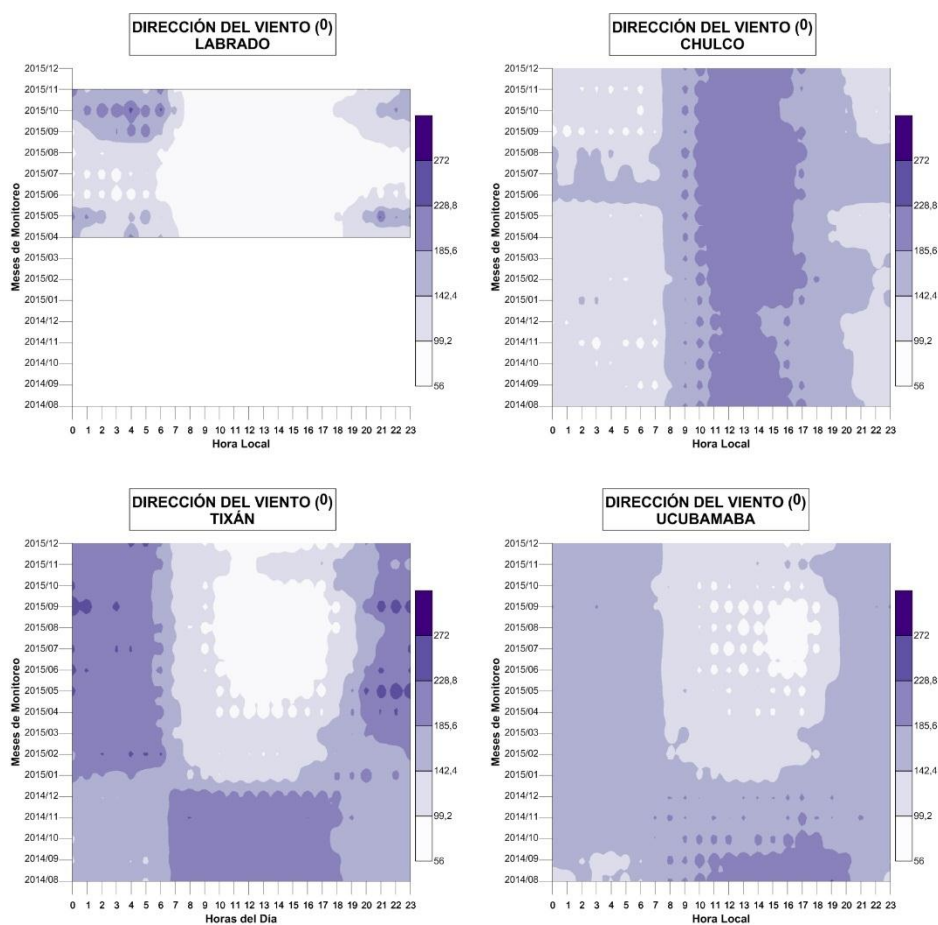


Ilustración 29. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario mensual. Dirección del Viento

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

La dirección del viento, **Ilustración 29**, tiene un comportamiento monomodal en toda la cuenca. Es similar en las estaciones de Labrado, Tixán y Ucubamba, dirigiendo sus vientos desde el este al sureste, desde las 7h hasta las 17h; y en las primeras y últimas horas del día, tienen una dirección sureste noroeste.

En Chulco, hasta las 8h se direcciona desde el este hasta el sureste; al cabo de este tiempo cambia su dirección, desde el sureste hasta el noroeste, recorre esta orientación hasta las 17 h. para, finalmente adquirir la trayectoria, las primeras horas de la mañana.

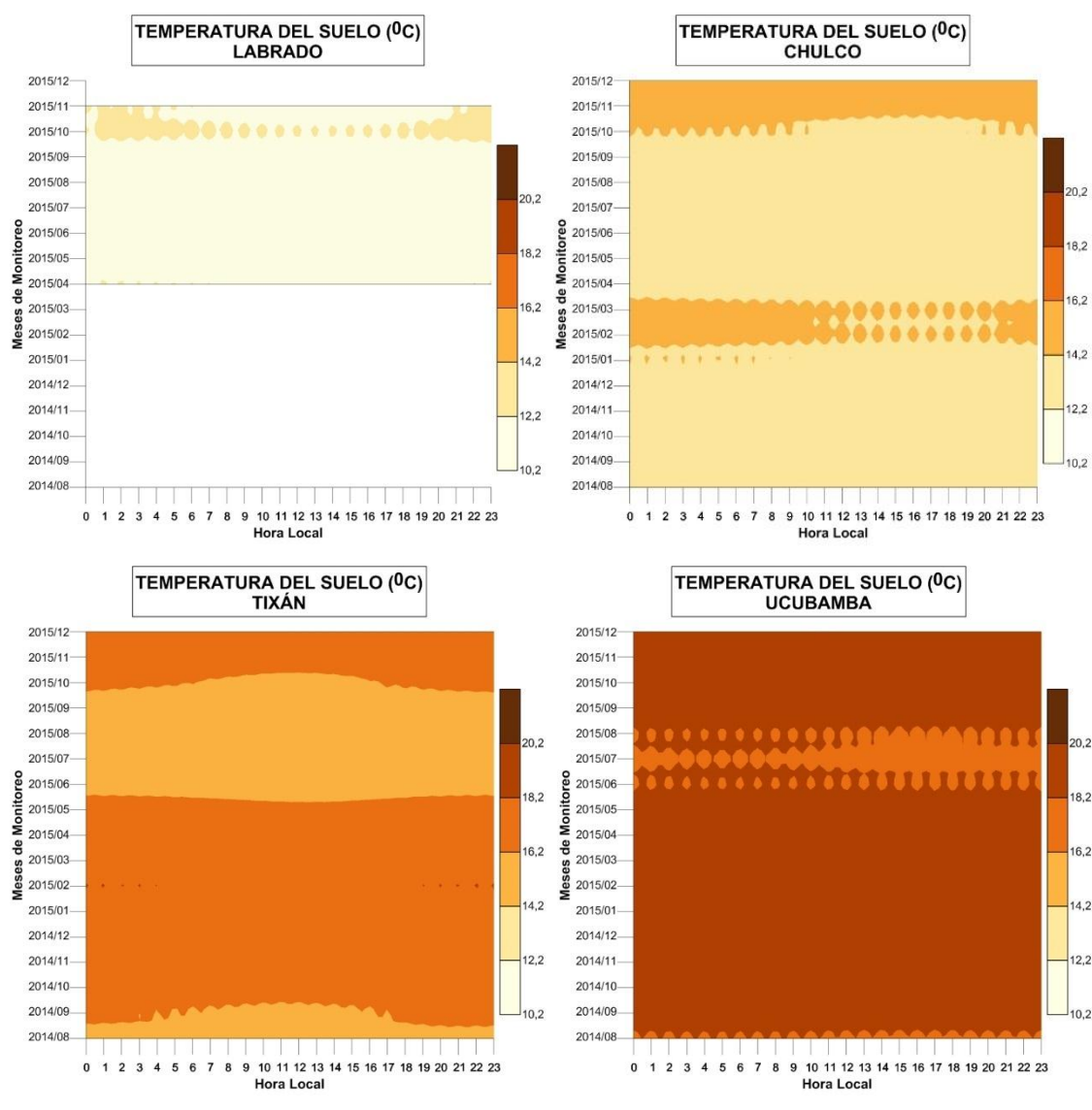




Ilustración 30. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario mensual. Temperatura del Suelo

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

El comportamiento diario de la temperatura del suelo, es casi lineal en el transcurso del día, **Ilustración 30**, pero cambia sus valores a lo largo del tiempo de monitoreo. En Labrado, en las primeras horas de la mañana de octubre y noviembre de 2015, conforman secciones superiores. En Chulco, los meses más fríos son: febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre de 2015. En Tixán, la temperatura del suelo más fría, se presenta en los meses de: junio, julio, agosto y septiembre de 2015. En Ucubamba, los meses con valores mínimos de temperatura en el suelo son: junio, julio y agosto de 2015.

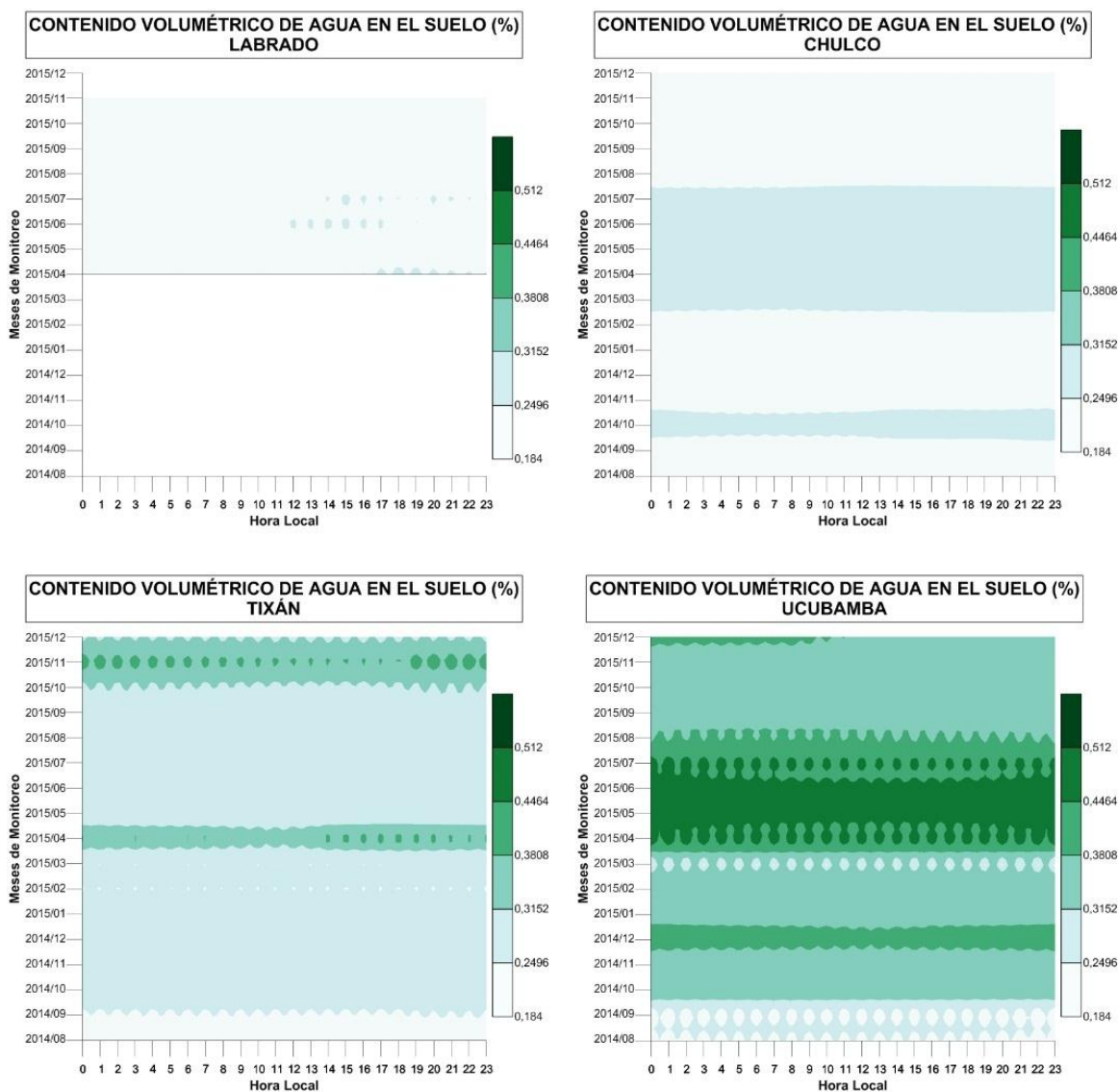


Ilustración 31. Diagrama de Hovmoller: Distribución y comportamiento horario mensual. Contenido Volumétrico de Agua en el Suelo

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

El contenido volumétrico de agua demuestra un comportamiento rectilíneo diariamente, **Ilustración 31**, con valores máximos en Labrado, en: junio y julio. Chulco en: marzo, abril, mayo, junio y julio de 2015. Tixán presenta dos secciones prominentes en: abril, octubre, noviembre y diciembre de 2015. Ucubamba en: diciembre de 2014, marzo, abril, mayo y junio de 2015.



3.1.5. Análisis de Correlación

Para un análisis más explícito, esta parte del estudio es dividida en dos subsecciones:

La primera es desarrollar un análisis de regresión, para calcular el coeficiente de determinación existente entre las mismas variables de las cuatro estaciones; es decir, se manifiesta la existencia o no, de correlación entre una variable atmosférica a lo largo de la cuenca, en función de su promedio anual y su relación de las variables, versus la altura. Los valores son ilustrados en la sección **3.1.1** y se sintetizan en la **Tabla 8**, que demuestra que la temperatura del suelo es la variable más correlacionada entre sí con un $r = 0.9976$. Lo contrario sucede con la dirección del viento, que tiene un $r = 0.5387$.

Al analizar la variable con la altura, muestra que casi todas las variables están correlacionadas, exceptuando la dirección del viento, que está en función de su posición geográfica.

Tabla 8. **Análisis de correlación espacial de la cuenca del río Machángara**

VARIABLES	Unidades	Coeficiente de Determinación (r^2)	
		Variable/Variabl e	Variable/altur a
Temperatura del aire	$^{\circ}\text{C}$	0.9818	0.9809
Humedad del aire	%	0.8449	0.8144
Presión atmosférica	mbar	0.9859	0.9995
Radiación solar	W/m^0	0.8531	0.7724
Precipitación*	mm	0.952	0.9465
Temperatura del suelo	$^{\circ}\text{C}$	0.9976	0.9695
Contenido volumétrico de agua en el suelo	%	0.8483	0.7450
Dirección del viento	Grados	0.5387	0.6514
Velocidad del viento	m/s	0.9972	0.9894
Evapotranspiración Calculada*	mm	0.8096	0.8410

Fuente: **ETAPA EP**. Realizado por: **Autora**

Las variables con * tienen un coeficiente de determinación solo para Chulco, Tixán y Ucubamba, porque Labrado tiene un tiempo de monitoreo menor y son variables intermitentes y al considerar estos valores, la correlación sería errónea, en base a las evaluaciones estudiadas anteriormente.

En la segunda parte, se expresa la correlación existente en todas las variables monitoreadas de cada estación, con la ayuda de una matriz de correlación, expresada en la **Tabla 9 a la Tabla 12**.

Para plasmar estos resultados de forma conjunta, se realizó el gráfico de barras, correspondiente a la **ilustración 32**, en la que se explica que:

La evapotranspiración con la humedad del aire presenta un valor máximo de $r = -0.864$, en la estación Chulco.

Las evapotranspiraciones con la radiación solar presentan un valor máximo de $r = 0.969$, en Labrado.

La humedad del aire y la radiación solar presentan un valor máximo de $r = -0.814$, correspondiente a Labrado.

La reciprocidad entre la temperatura del aire y la temperatura del suelo, solo se hace presente en la estación del Labrado.

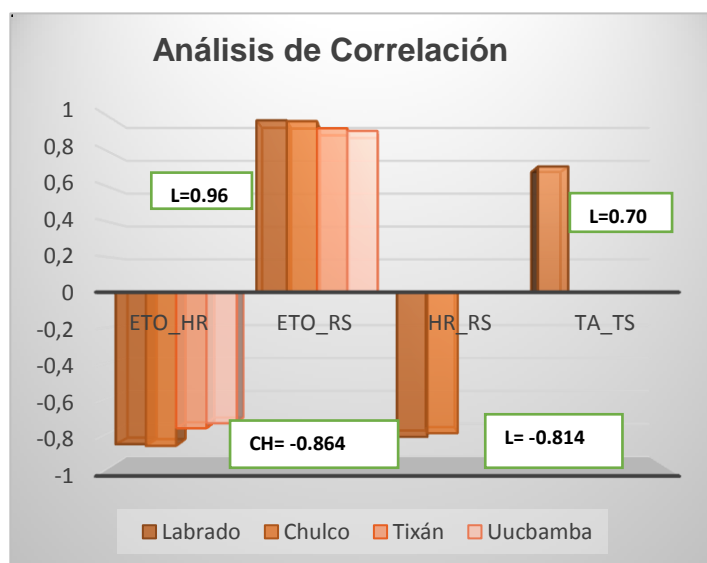


Ilustración 32. Correlación inter estacional de la cuenca del río Machángara

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora



Tabla 9. Matriz de Correlación Labrado

Coeficiente de Correlación		PB_L	DV_L	ETO_Cal_L	HA_L	LL_L	RS_L	TA_L	TS_L	VV_L	VWC_L	P values
	PB_L ¹⁴	1	0,215	0,190	0,041	0,211	0,650	0,209	0,159	0,128	0,215	
	DV_L ¹⁵	-0,177	1	0,192	0,0197	0,101	0,359	0,211	0,237	0,245	0,211	
	ETO_Cal_L ¹⁶	-0,225	0,660	1	0,002	0,114	0,001	0,104	0,285	0,198	0,120	
	HA_L ¹⁷	0,084	-0,558	-0,856	1	0,107	0,003	0,019	0,217	0,109	0,199	
	LL_L ¹⁸	-0,065	-0,132	-0,307	0,422	1	0,637	0,109	0,018	0,166	0,203	
	RS_L ¹⁹	-0,199	0,607	0,970	-0,814	-0,300	1	0,000	0,107	0,197	0,297	
	TA_L ²⁰	-0,512	0,493	0,654	-0,446	-0,205	0,603	1	0,001	0,217	0,301	
	TS_L ²¹	-0,432	0,420	0,453	-0,270	-0,030	0,367	0,709	1	0,223	0,301	
	VV_L ²²	0,080	-0,320	-0,166	-0,035	0,198	-0,074	-0,445	-0,390	1	0,294	
	VWC_L ²³	0,145	-0,237	-0,345	0,407	0,537	-0,291	-0,418	-0,400	0,324	1	

¹⁴ PB_L: Presión atmosférica en Labrado

¹⁵ DV_L: Dirección del Viento en Labrado

¹⁶ ETO_Cal_L: Evapotranspiración, calculada en Labrado

¹⁷ HA_L: Humedad del Aire en Labrado

¹⁸ LL_L: Lluvia en Labrado

¹⁹ RS_L: Radiación Solar en Labrado

²⁰ TA_L: Temperatura del aire en Labrado

²¹ TS_L: Temperatura del suelo en Labrado

²² VV_L: Velocidad de Viento en Labrado

²³ VWC_L: Contenido Volumétrico de agua, en el suelo en Labrado

Fuente: ETAPA EP. Realizado por: Autora

Tabla 10 Matriz de Correlación Chulco

Coeficiente de Correlación		BP_C H	DV_C H	ETO_Cal_ CH	HA_C H	LL_C H	RS_C H	TA_C H	TS_C H	VV_C H	VWC_C H	P values
	BP_CH ²⁴	1	0,159	0.170	0,124	0,869	0,132	0,121	0,150	0,301	0,157	
	DV_CH ²⁵	0,149	1	0,186	0,131	0,268	0,813	0,124	0,169	0,118	0,198	
	ETO_Cal_C H ²⁶	-0,290	-0,465	1	0,002	0,454	0,001	0,215	0,209	0,408	0,188	
	HA_CH ²⁷	0,122	0,392	-0,865	1	0,457	0,005	0,321	0,301	0,197	0,211	
	LL_CH ²⁸	-0,033	0,097	-0,184	0,379	1	0,123	0,108	0,199	0,294	0,155	
	RS_CH ²⁹	-0,264	-0,518	0,965	-0,794	- 0,141	1	0,040	0,152	0,219	0,164	
	TA_CH ³⁰	-0,590	0,058	0,296	-0,147	-	0,189	1	0,0.24	0,154	0,219	

²⁴ PB_CH: Presión atmosférica en Chulco

²⁵ DV_CH: Dirección del viento en Chulco

²⁶ ETO_Cal_CH: Evapotranspiración calculada en Chulco

²⁷ HA_CH: Humedad del aire en Chulco

²⁸ LL_CH: Lluvia en Chulco

²⁹ RS_CH: Radiación solar en Chulco

³⁰ TA_CH: Temperatura del aire en Chulco



						0,007			7			
	TS_CH³¹	-0,455	-0,103	0,157	-0,011	0,068	0,107	0,609	1	0,271	0,201	
	VV_CH³²	-0,153	-0,485	0,616	-0,583	- 0,180	0,684	-0,024	0,128	1	0,259	
	VWC_CH³³	0,212	0,069	-0,269	0,362	0,345	-0,200	-0,177	-0,094	-0,243	1	

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autor (a)

Tabla 11. Matriz de Correlación -Tixán

Coficiente de		BP_T	DV_T	ETO_ T	HA_T	LL_T	RS_T	TA_T	TS_T	VV_T	VWC_ T	P values
	BP_T ³⁴	1	0,121	0,168	0,168	0,349	0,101	0,219	0,216	0,316	0,263	
	DV_T ³⁵	-0,190	1	0,327	0,239	0,127	0,098	0,100	0,0102	0,264	0,371	
	ETO_Cal_T ³⁶	-0,274	0,168	1	0,003	0,330	0,002	0,995	0,098	0,211	0,261	

³¹ TS_CH: Temperatura del suelo en Chulco

³² VV_CH: Velocidad de viento en Chulco

³³ VWC_CH: Contenido volumétrico de agua en el suelo en Chulco

³⁴ BP_T: Presión atmosférica de Tixán

³⁵ DV_T: Dirección del viento en Tixán

³⁶ ETO_Cal_T: Evapotranspiración calculada en Tixán



HA_T ³⁷	-0,010	-0,024	-0,766	1	0,367	0,365	0,103	0,303	0,180	0,361	
LL_T ³⁸	-0,067	0,130	-0,083	0,353	1	0,289	0,023	0,291	0,199	0,016	
RS_T ³⁹	-0,353	0,227	0,925	-0,569	0,043	1	0,197	0,201	0,299	0,012	
TA_T ⁴⁰	-0,618	-0,094	0,480	-0,235	-0,034	0,485	1	0,107	0,321	0,199	
TS_T ⁴¹	-0,665	0,227	0,247	0,120	0,184	0,361	0,569	1	0,233	0,011	
VV_T ⁴²	0,319	-0,343	0,267	-0,543	-0,295	0,060	-0,152	-0,440	1	0,107	
VWC_T ⁴³	-0,073	-0,070	-0,132	0,263	0,209	-0,001	0,113	0,133	-0,303	1	

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora

Tabla 12. Matriz de Correlación- Ucubamba

	BP_U	DV_U	ETO_U	HA_U	LL_U	RS_U	TA_U	TS_U	VV_U	VWC_U	ρ
BP_U ⁴⁴	1	0,154	0,018	0,234	0,396	0,245	0,037	0,152	0,553	0,334	
DV_U ⁴⁵	-0,144	1	0,196	0,209	0,267	0,109	0,346	0,509	0,349	0,166	

³⁷ HA_T: Humedad del aire en Tixán

³⁸ LL_T: Lluvia en Tixán

³⁹ RS_T: Radiación solar en Tixán

⁴⁰ TA_T: Temperatura del aire en Tixán

⁴¹ TS_T: Temperatura del suelo en Tixán

⁴² VV_T: Velocidad de viento en Tixán

⁴³ VWC_T: Contenido volumétrico de agua en el suelo en Tixán

⁴⁴ PB_U: Presión atmosférica de Ucubamba

⁴⁵ DV_U: Dirección del viento en Ucubamba



ETO_Cal_U ⁴⁶	-0,293	0,126	1	0,002	0,219	0,261	0,628	0,197	0,228	0,018
HA_U ⁴⁷	0,055	0,029	-0,738	1	0,114	0,061	0,200	0,225	0,311	0,130
LL_U ⁴⁸	-0,050	0,234	-0,181	0,465	1	0,265	0,186	0,300	0,191	0,390
RS_U ⁴⁹	-0,336	0,124	0,910	-0,571	-0,082	1	0,029	0,170	0,238	0,168
TA_U ⁵⁰	-0,660	-0,063	0,379	-0,205	-0,051	0,367	1	0,582	0,291	0,433
TS_U ⁵¹	-0,630	0,209	0,282	-0,037	0,164	0,290	0,623	1	0,197	0,204
VV_U ⁵²	0,115	-0,281	0,471	-0,650	-0,438	0,304	-0,013	-0,163	1	0,301
VWC_U ⁵³	0,004	-0,320	-0,303	0,366	0,057	-0,058	0,092	-0,099	-0,280	1

Fuente: ETAPA EP. Realizado por: Autora

⁴⁶ ETO_Cal_U: Evapotranspiración calculada en Ucubamba

⁴⁷ HA_U: Humedad del aire en Ucubamba

⁴⁸ LL_U: Lluvia en Ucubamba

⁴⁹ RS_U: Radiación solar en Ucubamba

⁵⁰ TA_U: Temperatura del aire en Ucubamba

⁵¹ TS_U: Temperatura del suelo en Ucubamba

⁵² VV_U: Velocidad de viento en Ucubamba

⁵³ VWC_U: Contenido volumétrico de agua, en el suelo en Ucubamba



3.1.6. Comportamiento Meteorológico en un evento de lluvia

Para este análisis, se consideró que la zona de estudio tiene una distribución binomial anual de precipitación, por tal razón, se seleccionó dos eventos de lluvia, representados para toda la cuenca.

Un evento de lluvia sucede cuando la temperatura del aire circundante es lo suficientemente fría, para que exista una condensación de las gotitas suspendidas en las nubes; las nubes deben estar cargadas lo más posible de gotitas, para esto se requiere que horas antes de la precipitación, la velocidad del viento sea mayor; también hay carencia de radiación porque el contenido de humedad en el aire es elevado; por consiguiente, una nubosidad considerada y finalmente, debe existir un déficit de presión, para que el aire cargado de gotitas, ascienda hasta el punto de alcanzar su saturación (Aceituno & Montecinos, 1993) y (Echeverri & Valencia, 2004).

La **Ilustración 33** representa al primer evento de lluvia que se da en Ucubamba el 28/03/2015 23h25, con el siguiente comportamiento de los parámetros atmosféricos:

La temperatura del aire decrece sustancialmente, hasta cuando llega al tiempo del evento y a partir de éste, se da una baja más apreciada. La humedad del aire crece notablemente a las seis horas antes de la precipitación; posterior a ésta, sus valores fluctúan cercanos a la saturación. La presión atmosférica crece, seis horas antes, pero una hora antes, comienza a decrecer; ésta baja continuamente hasta seis horas después. La radiación se reduce considerablemente hasta cero, seis horas antes, tomando en cuenta que esto ocurre en la noche. La velocidad del viento disminuye, dos horas antes de la lluvia, pero en el evento se incrementa notablemente para volver a tener fluctuaciones menores. El contenido volumétrico de agua en el suelo, aumenta en el momento que sucede el hecho hasta una hora después, para luego estabilizarse durante las seis horas siguientes. La temperatura del suelo se mantiene estable.

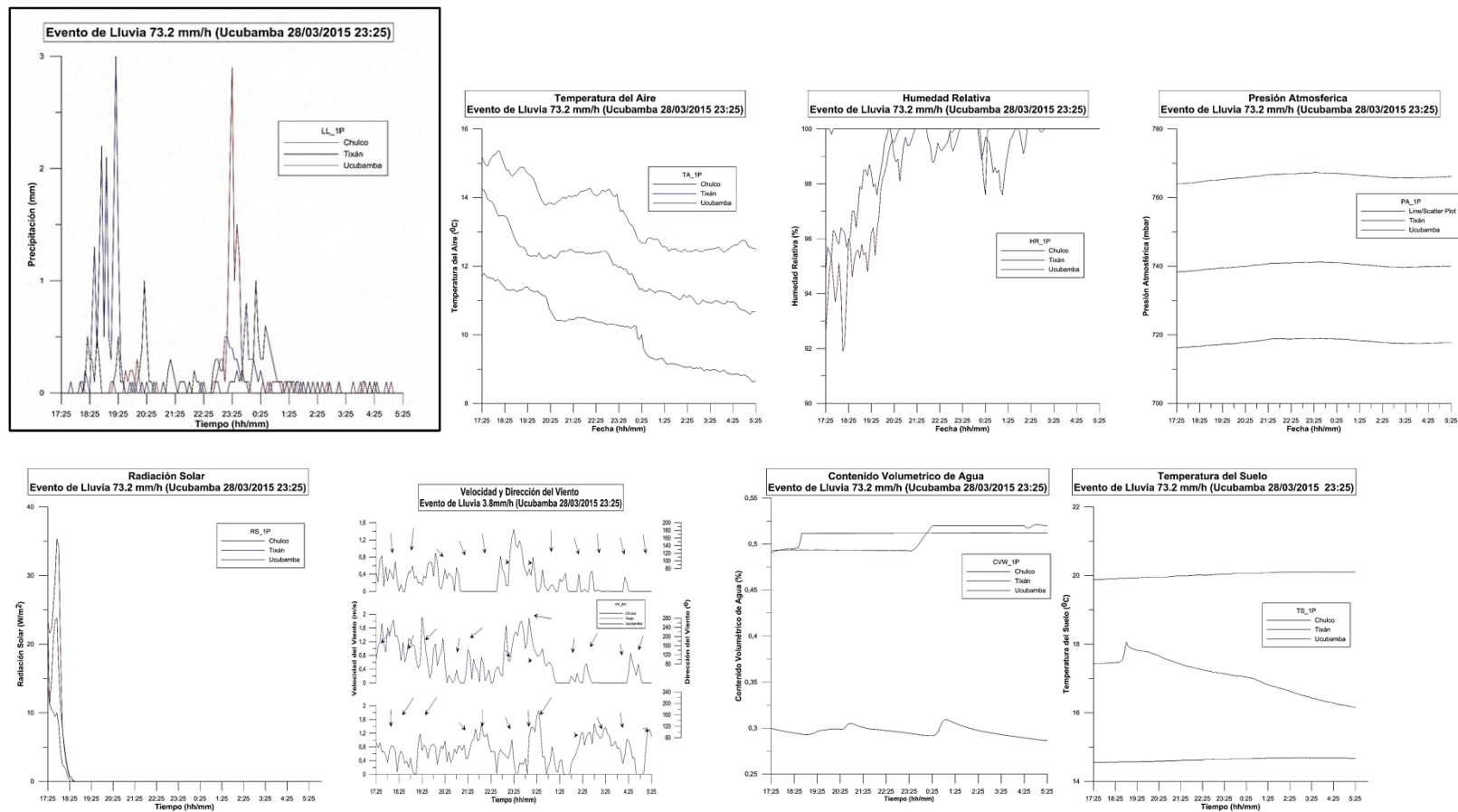


Ilustración. 33 Primer Evento de Lluvia

Fuente: ETAPA EP. **Realizado por:** Autora



La **ilustración 34**, representa el segundo evento de lluvia en Ucubamba, el 09/11/2014 16:20, donde las variables etéreas tienen la siguiente dinámica.

La temperatura del aire declina bruscamente a la mitad de su valor, en el transcurso de una hora antes de que se presente la lluvia, para que posteriormente se estabilice en este valor. La humedad del aire, seis horas antes de la lluvia, desciende considerablemente, pero una hora previa incrementa su valor hasta llegar a los máximos cercanos a la saturación. En el momento de la lluvia los valores son saturados, luego mantiene una conducta cercana al 100%, por las seis horas siguientes. La presión atmosférica decrece, hasta una hora antes del evento, luego se incrementa hasta que ocurra el suceso, siguiendo su trayectoria seis horas después. La radiación solar comienza a decaer, seis horas antes del evento hasta llegar a cero, en el momento justo de la lluvia. La velocidad del viento es máxima, una hora antes del desarrollo de la lluvia y una hora después, transcurrido este tiempo la velocidad disminuye. La dirección del viento se acrecienta, después de una hora. El contenido volumétrico crece justo en el momento que se da el evento, hasta una hora después, para que luego se fije en ese valor durante seis horas después. La temperatura del suelo se mantiene estable a lo largo de que ocurre de lluvia.

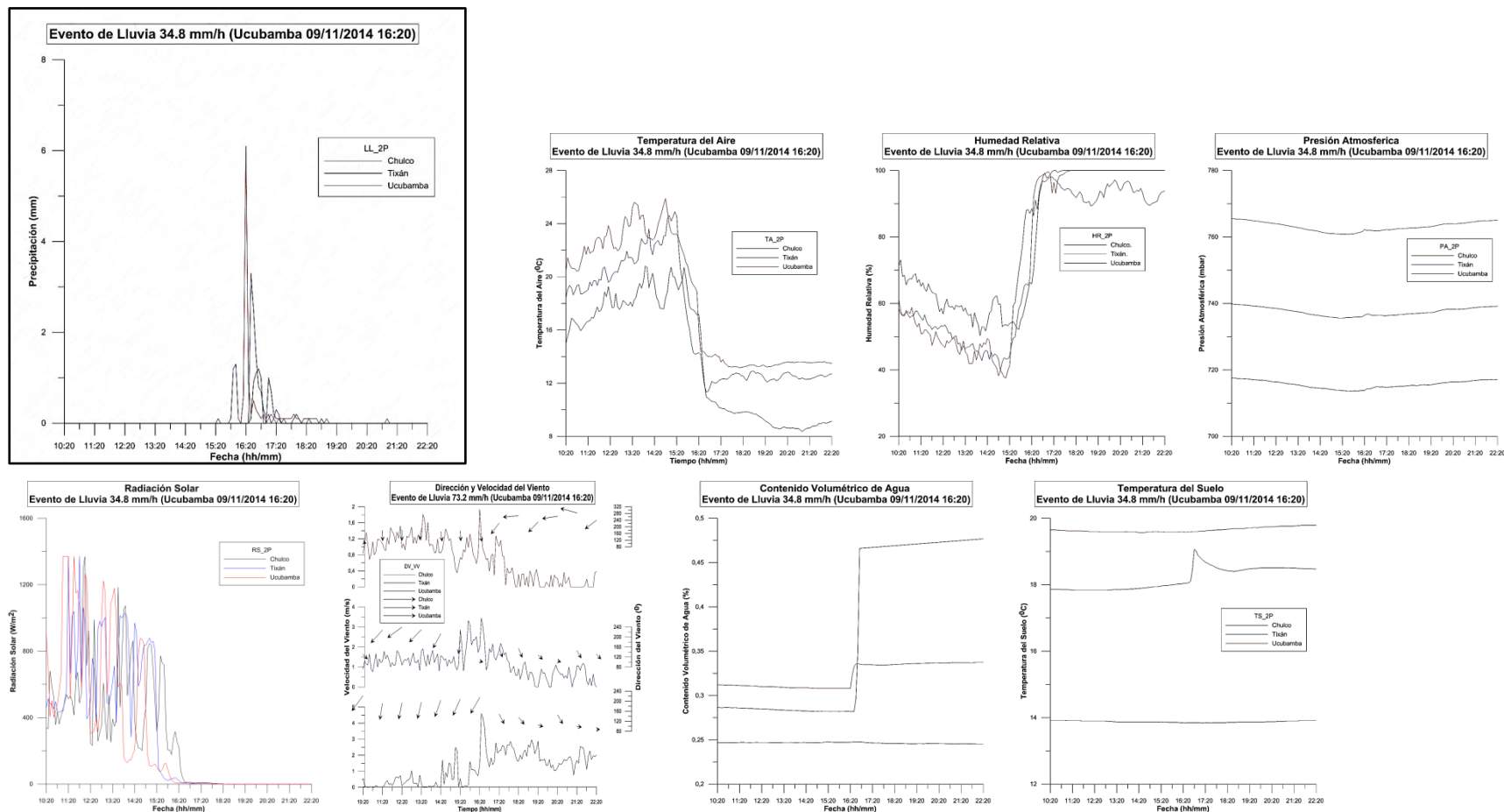


Ilustración 34. Segundo evento de lluvia

Fuente: ETAPA EP. Realizado por: Autora

3.2. Análisis de Correlación entre los datos de reanálisis y las Estaciones Meteorológicas.

3.2.1 Análisis de Condiciones Superficiales

La exploración de los datos de reanálisis se plasma en el meteograma de la **Ilustración 35**

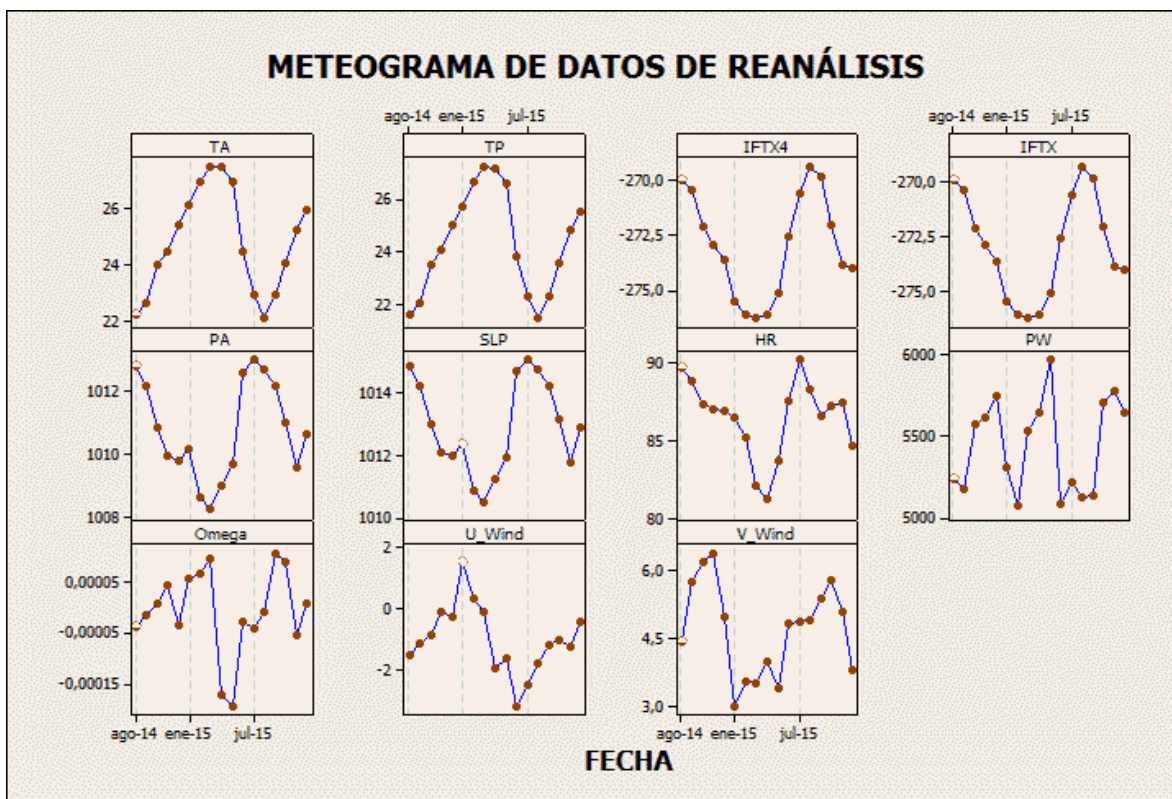


Ilustración 35. Meteograma de datos de reanálisis

Fuente: (Kalnay et al, 1996) **Realizado por:** Autora

La temperatura del aire en la atmosfera y la temperatura potencial tienen el mismo comportamiento en el tiempo de estudio; presentan una tendencia de crecimiento desde agosto de 2014; llegan a su valor máximo en marzo y abril; decrecen y llegan a su mínimo, en agosto de 2015, desde donde ascienden nuevamente.

El índice de superficie levantada y el índice de superficie levantada mejorada se comportan de forma similar; en agosto de 2014 comienza a decrecer, hasta llegar a su valor mínimo durante los meses de: febrero, marzo y abril de 2015, desde



aquí se incrementa nuevamente hasta agosto de 2015, alcanzando su valor máximo; de esta manera forman ciclos anuales.

Los valores de la presión atmosférica y la presión a nivel del mar son similares; presentan un decrecimiento a partir agosto de 2014, hasta noviembre y posteriormente hasta diciembre de 2014, en enero de 2015 presenta poco incremento, para que posteriormente tenga un desfase considerable hasta el mes de marzo de 2015, donde presenta su valor mínimo, nuevamente alcanza su máximo en julio de 2015 y finalmente decrece hasta diciembre de 2015.

La dinámica de omega empieza con un incremento de su valor desde agosto a noviembre de 2014; en diciembre del mismo año hay una caída poco significativa; posteriormente, su valor se incrementa en el primer trimestre del año 2015, presentando una baja importante, en los meses de abril y mayo de 2015; después el valor asciende poco a poco, hasta llegar a su máximo en septiembre de 2015; decrece nuevamente hasta noviembre y sube su valor, en diciembre de 2015.

El comportamiento de la humedad relativa es opuesta a la temperatura del aire, comienza con un pico alto, en el mes de agosto de 2014; decrece hasta octubre, formando una meseta hasta enero de 2015, desde donde decrece hasta el punto mínimo; en abril de 2015, asciende nuevamente hasta alcanzar su punto máximo, en julio de 2015 y regresa a sus ciclos cóncavos consecutivos cada año.

El componente vertical del viento alcanza su valor máximo en noviembre de 2014; mientras que el componente horizontal lo hace en enero de 2015 y el pico mínimo, en junio de 2015 y en enero de 2015, respectivamente. El componente horizontal muestra una tendencia lineal de crecimiento a partir de su baja; mientras que el comportamiento vertical, muestra fluctuaciones de ascenso y descenso.

3.2.2. Análisis de Correlación espacio-temporal

El análisis de correlación espacio-temporal de los datos de reanálisis, con respecto a las variables meteorológicas, se divide en dos secciones



- En la primera sección, se efectúa una matriz de correlación simultánea entre los datos de reanálisis a escala de seis horas y se obtiene los resultados, que figuran en la Tabla 13. Sintetizando los valores de la Tabla 14, se observa que los datos, que presentan mayor correlación son: la presión atmosférica con la presión a nivel del mar.

Tabla 13. Matriz de Correlación entre los datos de reanálisis

Coeficiente de Correlación		HR	IFTX	IFTX4	Omega	PA	PW	SLP	TA	TP	U_Wind	V_Wind	P Value
	HR ⁵⁴	1	0,119	0,219	0,143	0,218	0,201	0,182	0,370	0,197	0,160	0,114	
	IFTX ⁵⁵	0,310	1	0.071	0,192	0,167	0,198	0,214	0.004	0,001	0,120	0,186	
	IFTX4 ⁵⁶	0,311	0,999	1	0,135	0,149	0,364	0,146	0,001	0,007	0,290	0,125	
	Omega ⁵⁷	- 0,013	0,063	0,063	1	0,205	0,401	0,198	0,139	0,180	0,258	0,168	
	PA ⁵⁸	0,351	0,412	0,411	-0,269	1	0,321	0,001	0,301	0,256	0,239	0,151	
	PW ⁵⁹	- 0,052	- 0,391	- 0,394	-0,103	- 0,117	1	0,171	0,108	0,321	0,249	0,147	
	SLP ⁶⁰	0,344	0,392	0,391	-0,273	1,000	- 0,108	1	0,184	0,146	0,185	0,159	
	TA ⁶¹	- 0,585	- 0,875	- 0,874	-0,043	- 0,579	0,351	- 0,561	1	0,004	0,210	0,125	

⁵⁴ HR: Humedad relativa

⁵⁵ IFTX: Índice de superficie levantada

⁵⁶ IFTX4: Índice de superficie levantada mejorada

⁵⁷ Omega: Omega

⁵⁸ PA: Presión atmosférica

⁵⁹ PW: Agua Precipitable

⁶⁰ SLP: Presión a nivel del mar

⁶¹ TA: Temperatura del Aire



	TP⁶²	- 0,584	- 0,863	- 0,861	-0,014	- 0,644	0,340	- 0,627	0,996	1	0,250	0,146	
	U_Wind⁶³	- 0,083	- 0,146	- 0,148	0,141	- 0,201	0,063	- 0,199	0,159	0,170	1	0,168	
	V_Wind⁶⁴	0,104	0,233	0,235	0,195	0,011	- 0,030	0,004	-0,281	- 0,265	-0,034	1	

Fuente: Kalnay et al (1996) **Realizado por:** Autora

⁶² TP: Temperatura potencial

⁶³ U Wind: Componente horizontal del viento

⁶⁴ V Wind: Componente vertical del viento

Tabla 14. Datos de reanálisis correlacionados

	IFTX	PA	TA	IFTX4
IFTX4	0,9989			
SLP		0,9995		
TP	-0.863		0,9964	-0.861
TA	-0,875			-0.874

Fuente: (Kalnay et al, 1996) **Realizado por:** Autora

- En la segunda parte de esta sección, se desarrolló una matriz de correlación entre los datos de reanálisis con la red de monitoreo. Los resultados se exponen en la **Tabla 15** a la **Tabla 18**. Demostrando que no existe correlación entre los datos de reanálisis superficiales y las estaciones meteorológicas, ubicadas en la cuenca del río Machángara.



Tabla 15. Matriz de Correlación Labrado- Datos de Reanálisis

Coeficiente de Correlac		BP _L	DV _I	HR	HA _L	IF TX	IF TX 4	LL _L	Om ega	PA	P W	RS _L	SL P	TA	TP	TA _L	TS _L	U_ Win d	V_ Win d	V V_ L	VW C_ L	P Values
	BP _L	1	0,1 50	0,5 20	0,1 58	0,1 50	0,1 85	0,1 85	0,1 28	0,3 00	0,2 10	0,3 90	0,3 64	0,3 03	0,2 60	0,2 02	0,1 36	0,2 26	0,2 33	0, 11 1	0,1 35	
	DV _I	- 0,0 43	1	0,1 58	0,2 30	0,2 90	0,5 12	0,2 10	0,0 65	0,0 24	0,1 02	0,4 01	0,1 08	0,2 26	0,1 13	0,2 42	0,2 65	0,2 41	0,3 56	0, 21 4	0,2 13	
	HR	0,1 28	- 0,0 76	1	0,1 08	0,1 50	0,2 80	0,1 02	0,2 87	0,3 00	0,1 87	0,3 09	0,3 65	0,3 24	0,2 42	0,1 14	0,1 87	0,1 23	0,1 65	0, 12 4	0,2 32	
	HA _L	0,0 99	0,1 73	0,0 02	1	0,1 20	0,1 97	0,1 08	0,2 87	0,1 83	0,2 04	0,2 07	0,2 41	0,3 20	0,2 67	0,1 19	0,1 51	0,2 01	0,2 48	0, 16 4	0,3 10	
	IFT X	0,1 88	- 0,0 52	0,3 65	0,0 21	1	0,1 68	0,2 01	0,2 38	0,1 41	0,1 83	0,2 03	0,1 51	0,1 53	0,1 70	0,2 50	0,1 60	0,2 31	0,1 51	0, 10 3	0,2 04	
	IFT	0,1	-	0,3	0,0	0,9	1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,	016	



X4	90	0,0 51	68	23	99		16	57	91	81	10	56	11	51	89	85	65	56	23 1	2
LL_ L	- 0,0 98	- 0,1 12	- 0,0 10	0,1 91	- 0,0 82	- 0,0 80	1	0,1 98	0,2 87	0,3 97	0,3 87	0,1 21	0,3 60	0,2 56	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0,2 01	0, 25 8	0,3 64
Om ega	0,3 32	- 0,0 52	0,0 68	0,0 11	0,2 32	0,2 33	- 0,0 13	1	0,1 87	0,1 09	0,1 57	0,1 77	0,2 90	0,2 18	0,3 80	0,2 53	0,3 62	0,2 21	0, 26 9	0,3 20
PA	- 0,0 73	- 0,2 72	0,3 38	- 0,0 76	0,4 17	0,4 17	0,0 38	- 0,1 38	1	0,2 97	0,1 80	0,1 36	0,1 65	0,3 89	0,2 14	0,2 11	0,1 81	0,1 24	0, 21 3	0,3 67
PW	- 0,1 18	0,1 48	- 0,0 58	- 0,0 82	- 0,5 51	- 0,5 56	- 0,0 49	- 0,1 60	- 0,2 71	1	0,2 65	0,1 80	0,1 28	0,2 80	0,2 01	0,1 27	0,2 21	0,1 82	0, 1	0,3 58
RS _L	0,0 98	- 0,3 60	- 0,0 08	- 0,7 66	- 0,1 49	- 0,1 50	- 0,0 83	0,0 75	0,0 11	0,0 98	1	0,2 21	0,1 51	0,3 60	0,3 97	0,1 85	0,3 28	0,3 68	0, 02 7	0,1 50
SL P	- 0,0 78	- 0,2 74	0,3 28	- 0,0 76	0,3 96	0,3 96	0,0 41	- 0,1 44	1,0 00	- 0,2 60	0,0 14	1	0,1 56	0,2 56	0,2 61	0,2 85	0,2 65	0,2 87	0, 18 5	0,1 67
TA	-	0,1	-	0,0	-	-	0,0	-	-	0,5	-	-	1	0,3	0,3	0,6	0,1	0,1	0,	0,2



		0,1 56	45	0,6 14	91	0,8 84	0,8 83	60	0,2 23	0,5 64	02	0,0 11	0,5 45		20	50	20	67	97	28 5	65
	TP	- 0,1 40	0,1 63	- 0,6 11	0,0 93	- 0,8 73	- 0,8 72	0,0 52	- 0,1 96	- 0,6 29	0,4 99	- 0,0 12	- 0,6 11	0,9 97	1	0,3 61	0,1 01	0,1 37	0,2 47	0, 00 0	0,4 03
	TA_ L	- 0,2 40	- 0,4 61	- 0,1 48	- 0,7 30	- 0,2 94	- 0,2 97	- 0,0 26	- 0,0 67	- 0,0 97	0,1 95	0,7 70	- 0,0 92	0,1 76	0,1 75	1	0,1 27	0,2 81	0,1 87	0, 25 3	0,1 45
	TS_ L	- 0,2 84	0,2 86	- 0,3 17	- 0,1 27	- 0,4 20	- 0,4 22	- 0,0 13	- 0,0 22	- 0,5 36	0,3 37	0,0 67	- 0,5 31	0,4 60	0,4 86	0,2 63	1	0,3 26	0,3 06	0, 50 1	0,4 11
	U_ Win d	0,0 10	0,0 68	- 0,0 65	- 0,0 10	0,0 22	0,0 20	- 0,0 91	0,1 74	- 0,1 52	0,0 57	0,0 17	- 0,1 54	0,0 09	0,0 24	- 0,0 18	0,1 37	1	0,1 58	0, 52 9	0,2 01
	V_ Win d	0,1 09	- 0,0 55	0,1 16	- 0,1 08	0,1 81	0,1 84	0,0 26	0,2 74	- 0,0 14	- 0,0 54	0,0 94	- 0,0 20	- 0,2 38	- 0,2 22	0,0 67	0,0 43	0,0 19	1	01 58	0,2 65
	VV_ L	0,0 31	- 0,3 71	0,0 73	- 0,3 44	0,0 46	0,0 47	0,1 35	0,0 31	0,3 00	- 0,0 88	0,4 19	0,3 03	- 0,1 50	- 0,1 71	0,2 29	- 0,2 93	- 0,0 51	0,0 67	1	0,3 34
	VW	0,1	-	0,0	0,2	-	-	0,2	-	0,1	-	-	0,1	0,0	0,0	-	-	-	-	0,	1



	C_L	00	0,0	65	77	0,0	0,0	84	0,0	33	0,1	0,1	35	22	07	0,2	0,3	0,0	0,0	18		
			99			26	21		27		22	12				03	73	85	49	4		

Fuente: Kalnay et al (1996) **Realizado por:** Autora

Tabla 16. Matriz de Correlación Chulco - Datos de Reanálisis

Coeficiente de correlación		BP _C H	DV _C H	H R	HA _C H	IF TX ,	IF TX 4	LL _C H	O me ga	P A	P W	RS _C H	SL P	TA ,	TP ,	TA _C H	TS _C H	U Wi nd	V Wi nd	VV _C H	VW C_C H	P values
	BP_ CH	1	0,2 8	0, 20 1	0,1 27	0, 22 1	0, 18 2	0,1	0,3 58	0, 28	0, 20 1	0,1 27	0, 22 1	0, 18 2	0, 1	0,3 58	0,2 26	0,1 13	0,2 42	0,2 65	0,24 1	
	DV_ CH	- 0,0 96	1	0, 16 8	0,2 01	0, 23 8	0, 14 1	0,1 83	0,2 03	0, 15 1	0, 15 3	0,1 7	0, 25	0, 16	0, 23 1	0,1 51	0,1 03	0,2 04	0,1 14	0,1 87	0,12 3	
	HR	0,1 17	0,0 22	1	0,2 87	0, 39 7	0, 38 7	0,1 21	0,3 6	0, 25 6	0, 15 8	0,2 68	0, 32 1	0, 20 1	0, 25 8	0,3 64	0,3 2	0,1 37	0,2 47	0,1 25	0,40 3	
	HA_ CH	0,2 7	- 0,4 89	- 0, 03 4	1	0, 16 8	0, 20 1	0,2 38	0,1 41	0, 18 3	0, 20 3	0,1 51	0, 15 3	0, 17	0, 25	0,1 6	0,2 31	0,1 51	0,1 03	0,2 04	0,32 1	
	IFT X,	0,3 03	- 0,0 37	0, 31	0,0 61 1	1	0, 28	0,2 01	0,1 27	0, 22 1	0, 18 2	0,1	0, 35 8	0, 28 9	0, 28 5	0,2 65	0,1 56	0,2 31	0,6 2	0,1 62	0,15 8	



IFT X4	0,3 05	- 0,0 37	0, 31 1	0,0 64 3	0, 99 9	1	0,2 87	0,3 97	0, 38 7	0, 12 1	0,3 6	0, 25 6	0, 15 8	0, 26 8	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0,3 64	0,1 13	0,24 2
LL_ CH	- 0,1 15	0,1 16	- 0, 02 6	0,0 83 2	- 0, 07 5	- 0, 07 4	1	0,1 57	0, 28 7	0, 39 7	0,3 87	0, 12 1	0, 36	0, 25 6	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0,36 4
Om ega	0,2 57	0,0 09	- 0, 01 3	0,0 26 4	0, 06 3	0, 06 3	- 0,0 07	1	0, 28 7	0, 39 7	0,3 87	0, 12 1	0, 36	0, 25 6	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0,36 4
PA	- 0,0 27	0,2 2	0, 35 1	- 0,2 16 4	0, 41 2	0, 41 1	0,0 01	- 0,2 69	1	0, 26 5	0,1 8	0, 12 8	0, 28	0, 20 1	0,1 27	0,2 21	0,1 82	0,1	0,3 58	0,00 2
PW	- 0,1 4	- 0,0 43	- 0, 05 2	- 0,0 89 6	- 0, 39 1	- 0, 39 4	0,0 13	- 0,1 03	- 0, 11 7	1	0,2 89	0, 28 5	0, 26 5	0, 15 6	0,2 31	0,2 65	0,2 41	0,3 56	0,2 14	0,21 3
RS_ CH	- 0,0 31	0,4 26	0, 01 8	- 0,8 06 7	- 0, 16	- 0, 16 1	- 0,0 44	0,1 04	0, 07 6	0, 10 9	1	0, 08 1	0, 28 9	0, 28 5	0,2 31	0,1 87	0,1 23	0,1 65	0,1 24	0,23 2
SLP	- 0,0 34	0,2 23	0, 34 4	- 0,2 19 9	0, 39 2	0, 39 1	0,0 03	- 0,2 72	0, 11 2	- 0, 10 7	0,0 81	1	0, 51 2	0, 10 2	0,1 13	0,1 51	0,2 01	0,2 48	0,1 64	0,31
TA,	- 0,2 53	- 0,0 56	- 0, 58 5	0,0 86 3	- 0, 87 5	- 0, 87 4	0,0 62	- 0,0 43	- 0, 57 9	0, 35 1	- 0,0 04	- 0, 56 1	1	0, 10 8	0,2 42	0,1 83	0,2 04	0,2 07	0,2 41	0,32



TP,	- 0,2 36	- 0,0 75	- 0, 58 4	0,1 02 2	- 0, 86 3	- 0, 86 1	0,0 58	- 0,0 14	- 0, 64 4	0, 34	- 0,0 11	- 0, 62 7	0, 99 6	1	0,2 42	0,2 65	0,2 41	0,3 56	0,2 14	0,21 3
TA_ CH	- 0,3 62	0,6 94	- 0, 09 7	- 0,8 13 1	- 0, 27 3	- 0, 27 5	0,0 63	0,0 08	0, 03 6	0, 11 9	0,7 32	0, 04 3	0, 15 4	0, 14 1	1	0,1 87	0,1 23	0,1 65	0,1 24	0,23 2
TS_ CH	- 0,3 03	- 0,0 81	- 0, 39 5	0,0 25	- 0, 62 1	- 0, 62 1	0,0 34	0,0 38	- 0, 48 6	0, 27 3	0,0 22	- 0, 47 5	0, 69 3	0, 07	0,1 84	1	0,1 14	0,2 48	0,1 64	0,31
U_ Win d	- 0,0 72	- 0,0 81	- 0, 08 3	0,0 84 1	- 0, 14 6	- 0, 14 8	0,0 06	0,1 41	- 0, 20 1	0, 06 3	- 0,0 48	- 0, 19 8	0, 15 9	0, 16 9	- 0,0 42	0,2 04	1	0,1 51	0,3 56	0,00 1
V_ Win d	0,1 03	- 0,0 01	0, 10 4	- 0,1 03 8	0, 23 3	0, 23 5	- 0,0 07	0,1 95	0, 01 1	- 0, 03	0,1 2	0, 00 4	- 0, 28 1	- 0, 26 5	0,0 43	- 0,1 41	- 0,0 34	1	0,1 65	0,28 5
VV_ CH	- 0,1 66	0,1 35	0, 02 2	- 0,6 35 1	- 0, 13 7	- 0, 13 9	- 0,0 06	- 0,0 24	0, 12 3	0, 11 1	0,6 25	0, 12 7	0, 01	- 0, 00 4	0,4 3	0,0 55	- 0,0 64	0,0 73	1	0,20 1
VW C_C H	0,1 45	0,0 33	0, 01 3	0,1 57 5	- 0, 03 3	- 0, 03	0,2 33	- 0,0 23	0, 03 1	- 0, 04 4	- 0,0 68	0, 03 2	0, 03 9	0, 03 3	- 0,0 64	- 0,0 9	- 0,0 68	- 0,0 11	- 0,1 22	1

Fuente: Kalnay et al (1996) Realizado por: Autora

Tabla 17. Matriz de Correlación Tixán. Datos de Reanálisis

Coeficiente de Correlación		BP _T	DV _T	HR	HA _T	IF TX	IF TX 4	LL _T	Om ega	PA	P W	RS _T	SL P	TA	TP	TA _T	TS _T	U_ Win d	V_ Win d	V V_ T	VW C_ T	P Values
	BP _T	1	0,2 01	0,2 58	0,3 64	0,3 2	0,1 37	0,2 47	0,1 25	0,4 03	0,2 31	0,2 65	0,1 27	0,2 21	0,1 82	0,1 82	0,1 51	0,1 03	0,2 04	0, 18 2	0,1	
	DV _T	- 0,0 19	1	0,1 51	0,1 53	0,1 7	0,2 5	0,1 6	0,2 31	0,1 51	0,1 03	0,2 04	0,1 14	0,1 87	0,1 23	0,1 6	0,3 64	0,3 2	0,1 37	0, 16	0,2 31	
	HR	0,1 22	- 0,1 07	1	0,3 97	0,3 87	0,1 21	0,3 6	0,2 56	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0,3 64	0,1 13	0,2 42	0,2 31	0,1 51	0, 20 1	0,2 58	
	HA _T	0,1 7	0,3 48	- 0,0 6	1	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0,3 64	0,3 2	0,1 37	0,2 47	0,1 25	0,4 03	0,2 65	0,1 56	0,2 31	0, 17	0,2 5	
	IFT X	0,2 99	0,7 1	0,3 1	- 0,0 19	1	0,2 56	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0,3 64	0,1 13	0,2 42	0,2 89	0,3 21	0,2 01	0,2 58	0, 12 7	0,1 58	
	IFT X4	0,3 01	0,7 23	0,3 11	- 0,0 15	0,9 99	1	0,2 5	0,1 6	0,2 31	0,1 51	0,1 03	0,2 04	0,1 14	0,1 87	0,1 23	0,1 58	0,2 68	0,3 21	0, 05 6	0,2 42	
	LL_ T	- 0,1 24	0,0 41	- 0,0 48	0,1 14	- 0,0 75	- 0,0 75	1	0,3 73	0,2 85	0,2 31	0,0 56	0,3 87	0,1 21	0,3 6	0,3 6	0,1 58	0,2 68	0,1 72	0, 00 1	0,3 64	
	Om ega	0,2 55	0,6 07	- 0,0 13	- 0,0 11	0,0 63	0,0 63	- 0,0 26	1	0,2 38	0,1 41	0,1 83	0,2 03	0,1 51	0,1 53	0,1 7	0,2 5	0,1 6	0,2 31	0, 15 1	0,1 03	
	PA	- 0,0	- 0,1	0,3 51	- 0,2	0,4 12	0,4 11	- 0,0	- 0,2	1	0,2 21	0,1 82	0,1	0,3 58	0,2 8	0,2 01	0,1 27	0,2 21	0,1 82	0, 1	0,3 58	



	07	33		09			4	69													
PW	- 0,1 41	0,1 11	- 0,0 52	- 0,0 52	- 0,3 91	- 0,3 94	0,0 57	- 0,1 03	- 0,1 17	1	0,2 42	0,2 04	0,1 14	0,0 01	0,2 65	0,2 31	0,1 87	0,1 37	0, 24 7	0,1 25	
RS _T	0,0 54	- 0,3 38	0,0 23	- 0,7 08	- 0,1 81	- 0,1 82	- 0,0 41	0,1 31	0,0 55	0,1 03	1	0,2 26	0,1 13	0,0 02	0,1 87	0,0 26	0,2 31	0,1 51	0, 10 3	0,2 04	
SL P	- 0,0 14	- 0,1 36	0,3 44	- 0,2 11	0,3 92	0,3 91	- 0,0 39	- 0,2 72	1	- 0,1 07	0,0 61	1	0,1 87	0,1 23	0,1 51	0,0 24	0,1 56	0,2 31	0, 62	0,1 62	
TA	- 0,2 59	- 0,1 43	- 0,5 85	0,1 43	- 0,8 75	- 0,8 74	0,0 81	- 0,0 43	- 0,5 79	0,3 51	0,0 15	- 0,5 61	1	0,2 65	0,1 83	0,2 85	0,2 01	0,2 58	0, 36 4	0,1 13	
TP	- 0,2 43	0,2 93	- 0,5 84	0,1 55	- 0,8 63	- 0,8 61	0,0 8	- 0,0 14	- 0,6 44	0,3 4	0,0 09	- 0,6 27	0,9 96	1	0,3 67	0,1 83	0,2 68	0,3 21	0, 20 1	0,2 58	
TA_ T	- 0,3 42	- 0,4 12	- 0,1 06	- 0,7 96	- 0,2 72	- 0,2 73	0,0 23	0,0 24	0	0,1 36	0,7 43	0,0 07	0,1 61	0,1 51	1	0,1 21	0,2 68	0,3 21	0, 20 1	0,2 58	
TS_ T	- 0,4 65	0,1 24	- 0,3 09	0,1 26	- 0,6 29	- 0,6 29	0,1 08	0,0 41	- 0,5 57	0,2 76	0,0 03	- 0,5 45	0,6 66	0,6 80	0,1 47	1	0,2 21	0,1 82	0, 17	0,3 58	
U_ Win d	- 0,0 75	0,0 71	- 0,0 83	0,1 12	- 0,1 46	- 0,1 48	0,0 42	0,1 41	- 0,2 01	0,0 63	- 0,0 41	- 0,1 98	0,1 59	0,1 69	- 0,0 48	0,3 04	1	0,2 89	0, 28 9	0,1 82	
V_ Win d	0,1 03	0,1 56	0,1 04	- 0,0 95	0,2 33	0,2 35	- 0,0 08	0,1 95	0,0 11	- 0,0 3	0,1 06	0,0 04	- 0,2 81	- 0,2 45	0,0 53	- 0,0 67	- 0,0 34	1	0, 18 7	0,2 99	
VV_ T	- 0,0 71	- 0,4 83	0,0 87	- 0,8 15	0,0 56	0,0 53	- 0,0 48	- 0,0 12	0,3 4	- 0,0 07	0,6 24	0,3 42	- 0,1 9	-- 0,2 12	0,6 95	- 0,2 56	- 0,1 7	0,0 55	1	0,3 01	



	VW	-	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	-	-	1
	C_T	0,0	0,3	0,1	53	0,1	0,1	17	0,0	0,1	34	0,0	0,1	34	35	24	3	19	0,0	0,	
		43	25	61		94	92		97	63		11	6					17	14		

Fuente: Kalnay et al (1996) **Realizado por:** Autora

Tabla 18. Matriz de Correlación Ucubamba. Datos de Reanálisis

Coeficiente de Correlación		BP	DV	HR	HA	IF	IF	LL	Om	PA	P	RS	SL	TA	TP	TA	TS	U	V	VV	VW
		_U	_U		_U	TX	TX	_U	ega		W	_U	P			_U	_U	Win	Win	_U	C_
						4												d	d		U
	BP	1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1
	_U		51	53	7	5	6	31	51	03	04	14	87	23	6	64	2	37	6	31	
	DV	0,0	1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
	_U	26		01	58	64	2	37	47	25	03	31	65	27	21	82	82	51	03	04	82
	HR	0,1	0,0	1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,4	0,0	0,2	0,1
		38	45		65	6	56	58	68	21	01	58	64	2	37	47	25	03	56	42	25
	HA	0,2	0,3	-	1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,3	0,2
	_U	86	02	0,0		38	31	21	82	51		87	21	6	6	58	68	72	01	64	31
				39																	
	IFT	0,3	0,0	0,3	0,0	1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
	X	15	53	1	08		03	38	41	58	83	03	51	53	7	5	6	31	51	03	56
	IFT	0,3	0,0	0,3	0,0	0,9	1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2
	X4	17	55	11	1	99		21	87	58	21	01	58	8	01	27	21	82		58	01
	LL	-	0,0	-	0,1	-	-	1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2
	_U	0,1	95	0,0	25	0,0	0,0		37	21	38	53	51	04	14	87	23	6	64	25	68
		05		43		96	96														
	Om	0,2	0,0	-	-	0,0	0,0	-	1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1



ega	42	4	0,0 13	0,0 12	63	63	0,0 19		38	01	58	58	21	01	58	64	13	42	31	6
PA	0,0 08	- 0,1 69	0,3 51	- 0,2 11	0,4 12	0,4 11	- 0,0 41	- 0,2 69	1	0,3 87	0,2 31	0,2 58	0,3 2	0,1 37	0,2 47	0,1 25	0,4 03	0,2 65	0,2 56	0,3 73
PW	- 0,1 44	0,0 23	- 0,0 52	- 0,0 35	- 0,3 91	- 0,3 94	0,0 48	- 0,1 03	- 0,1 17	1	0,1 03	0,3 21	0,2 58	0,3 64	0,1 13	0,2 42	0,2 89	0,3 21	0,2 01	0,0 51
RS _U	- 0,0 12	- 0,2 31	0,0 18	- 0,7 22	- 0,1 9	- 0,1 91	- 0,0 53	0,1 2	0,0 82	0,1 04	1	0,2 31	0,1 03	0,2 04	0,1 14	0,1 87	0,1 23	0,1 58	0,2 68	0,1 56
SL P	0	- 0,1 72	0,3 44	- 0,2 14	0,3 92	0,3 91	- 0,0 38	- 0,2 72	0,1 24	- 0,1 07	0,0 88	1	0,3 98	0,3 87	0,1 21	0,3 6	0,3 6	0,1 58	0,1 6	0,2 01
TA	- 0,2 75	- 0,0 41	- 0,5 85	0,1 23	- 0,8 75	- 0,8 74	0,0 82	- 0,0 43	- 0,5 79	0,3 51	0,0 2	- 0,5 61	1	0,0 24	0,2 87	0,1 56	0,1 25	0,1 25	0,3 73	0,2 68
TP	- 0,2 59	- 0,0 22	- 0,5 84	0,1 37	- 0,8 63	- 0,8 61	0,0 81	- 0,0 14	- 0,6 44	0,3 4	0,0 11	- 0,6 27	0,9 96	1	0,3 65	0,2 01	0,2 42	0,2 31	1,3 2	0,2 68
TA_ U	- 0,4 47	- 0,3 03	- 0,1 07	- 0,8 44	- 0,2 62	- 0,2 64	0,0 13	0,0 04	0,0 3	0,1 2	0,7 12	0,0 37	0,1 52	0,1 4	1	0,2 68	0,1 87	0,2 56	0,1 27	0,1 65
TS_ U	- 0,4 08	0,1 51	- 0,3 46	0,0 46	- 0,5 36	- 0,5 37	0,0 85	0,0 46	- 0,5 1	0,2 8	0,0 2	- 0,5	0,5 94	0,6 08	0,1 55	1	0,3 21	0,2 01	0,3 98	0,3 28
U_ Win d	- 0,0 66	0,1 08	- 0,0 83	0,1 03	- 0,1 46	- 0,1 48	0,0 42	0,1 41	- 0,2 01	0,0 63	- 0,0 52	- 0,1 98	0,1 59	0,1 69	- 0,0 54	0,3 01	1	0,2 68	0,2 38	0,2 41
V_ Win	0,0 96	0,0 71	0,1 04	- 0,0	0,2 33	0,2 35	- 0,0	0,1 95	0,0 11	- 0,0	0,0 94	0,0 04	- 0,2	- 0,2	0,0 42	- 0,0	- 0,0	1	0,1 64	0,3 64



d				87			03			3			81	65		44	34				
VV	-	-	0,0	-	-	-	-	-	0,3	0,0	0,6	0,3	-	-	0,7	-	-	0,3	1	0,1	
_U	0,2	0,4	32	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	13	21	72	17	0,1	0,1	2	0,1	0,1	73		74	
	27	36		32	33	36	89	54					06	3		19	34				
VW	0,0	-	-	0,1	-	-	0,0	-	-	0,1	-	-	0,4	0,4	0,0	-	-	-	-	1	
C_	09	0,1	0,1	67	0,3	0,3	39	0,0	0,1	76	0,0	0,1	19	03	23	0,0	0,1	0,1	0,1		
U		97	62		61	59		91	15		18	06				98	13	33	11		

Fuente: Kalnay et al (1996) **Realizado por:** Autora

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Existen diversos mecanismos que intervienen en la interpretación y aplicación de la meteorología de la cuenca del río Machángara. La presente investigación se realizó a escala terrestre y sinóptica, y su dinámica se manifiesta de la siguiente manera:

Presenta una variabilidad altitudinal propia de montaña, su comportamiento meteorológico depende de procesos atmosféricos, como: la radiación solar, la temperatura del aire y el movimiento de las masas de aire. Estos procesos atmosféricos, más la influencia de la ubicación geográfica, provocan la variabilidad de los componentes meteorológicos.

La amplitud de cada variable es poco significativa, a lo largo de la cuenca hidrográfica, demostrando mayor amplitud en la estación de Tixán.

La variabilidad Geográfica, en la mayoría de los parámetros atmosféricos estudiados, destaca estratificaciones meteorológicas y presenta anomalías y eventos importantes. (Déficit o incremento de la variable en un tiempo y espacio determinado).

La variabilidad horaria mensual reveló el ciclo diario monomodal de cada parámetro estudiado en las cuatro estaciones, demostrando un mismo nivel de variación, excepto en la presión atmosférica, que tiene un ciclo diario bimodal.

La dinámica de los parámetros atmosféricos, antes, durante y después de un evento de lluvia, tienen un comportamiento establecido, aunque sus valores se modifican de acuerdo a la hora del evento.

La correlación espacial demuestra cierta similitud, entre: la temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y radiación solar, con respecto a la altura. La dirección del viento no manifiesta esta cualidad.



El coeficiente de correlación entre una misma variable, en las diferentes estaciones, es similar.

La correlación inter estacional presenta mayor reciprocidad entre:

En Labrado, al relacionar la evapotranspiración con la radiación solar, humedad relativa, con radiación solar y la temperatura del aire, con la temperatura del suelo, y en Chulco, al relacionar la evapotranspiración con la humedad relativa

Al evaluar el comportamiento de los datos de reanálisis, se encuentra similitud en su conducta, entre: la temperatura del aire y la temperatura potencial, la presión atmosférica y la presión a nivel del mar, el componente horizontal y vertical del viento y entre los índices de superficie levantada y el índice de superficie levantada mejorada.

No existe correlación entre los datos de reanálisis y los datos de la red de monitoreo de la cuenca del río Machángara.

Los resultados de este estudio sirven para determinar: épocas de riego, siembra, control de caudal en los embalses de Labrado y Chanlud, abastecimiento de agua para la ciudad de Cuenca, meteorización de minerales en el suelo, irrigación y procesos biológicos en las zonas altas.

4.2. Recomendaciones e investigaciones futuras

Recomendaciones

Usar este estudio como base para la toma de decisiones en esta cuenca y considerar que se puede seguir una línea de investigación más amplia en este ámbito, especialmente para los datos de reanálisis, aplicándolos a una área de estudio que abarque mayores extensiones del territorio, logrando de esta manera resultados significativos.

Investigaciones Futuras

Variaciones longitudinales meteorológicas o quizá solo de precipitación, en la cuenca del río Machángara, a partir de la misma base de datos.



Establecer una asociación entre variables meteorológicas y concentraciones de contaminantes.

Estimación del régimen de precipitación, en función de la distancia de la cordillera.

Estudios que relacionan a la atmosfera, con el ciclo del carbono.

Modelamiento atmosférico a partir de datos de reanálisis, por medio de Krigging.



Abreviaturas:

TA	Temperatura del Aire
HA	Humedad del Aire
PA	Presión Atmosférica
RS	Radiación Solar
LL	Lluvia
TS	Temperatura del Suelo
CVW	Contenido Volumétrico de Agua en el suelo
DV	Dirección del Viento
VV	Velocidad del Viento
ETO	Evapotranspiración
ETO Calc	Evapotranspiración Calculada
IFTX4	Índice de Superficie Levantada mejorada o de 4 capas
PT	Temperatura Potencial
PW	Agua precipitable en toda la atmósfera
PA	Presión Superficial
SLP	Presión a nivel del mar
IFTX	Índice de Superficie levantada
U Wind	Componente de la velocidad del viento en el eje x
V Wind	Componente de la velocidad del viento en el eje y
Omega	Componente de la velocidad del viento en el eje z



Unidades:

Variable	Unidades	Simbología
Temperatura del Aire	Grados Centígrados	$^{\circ}\text{C}$
Humedad del Aire	Porcentaje	%
Presión Atmosférica	Milibar	mbar
Radiación Solar	Vatios sobre metro cuadrado	W/m^2
Lluvia	Milímetro	mm
Temperatura del Suelo	Grados Centígrados	$^{\circ}\text{C}$
Contenido Volumétrico de Agua en el suelo	Porcentaje	%
Dirección del Viento	Grados	($^{\circ}$)
Velocidad del Viento	Metros sobre segundo	m/s
Evapotranspiración	Milímetros	mm
Índice de superficie levantada	Grados Centígrados	$^{\circ}\text{C}$
Índice de superficie levantada mejorada o de cuatro capas	Grados Centígrados	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura Potencial	Grados Centígrados	$^{\circ}\text{C}$
Agua precipitable	Milímetros	mm
Presión Superficial	Milibar	mbar
Presión a nivel del mar	Milibar	mbar
Componente de velocidad de viento X	Metros sobre segundo	m/s
Componente de velocidad de viento Y	Metros sobre segundo	m/s
Omega	Metros sobre segundo	m/s



Glosario:

Área de Drenaje: Es la superficie de la cuenca hidrográfica por donde atraviesa un sistema hídrico, como un río o escorrentías.

Proceso Adiabático: Sistema termodinámico que no intercambia calor con su entorno.

Cota: Altura que presenta un punto sobre un plano horizontal que se usa como referencia.

Índice de Capacidad: También denominado coeficiente de compacidad o de Graveliús, definida como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área equivalente.

Factor de Forma: Es la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del curso principal del río.

Rango de Elongación: Indica el comportamiento de la forma de la cuenca.

Extremo Septentrional: Indica el extremo norte de una ubicación.

Tobas: Es un tipo de roca volcánica.

Piroclastos: Fragmento sólido de origen volcánico.

Isomésico: La temperatura media anual del suelo es igual o mayor de 8 °C, pero menor de 15 °C..

Isofrígido: La temperatura media anual del suelo es menor de 8°C.

Convección atmosférica: es el resultado de la inestabilidad parcial del ambiente, o diferencia de temperatura, en la capa atmosférica. Debido a un gradiente adiabático en el aire húmedo y seco, provoca la inestabilidad.

Mancha solar: Es una región del Sol, que tiene una temperatura más baja que sus alrededores y con una intensa actividad magnética.

Ciclo solar: El ciclo solar está relacionado con la aparición de manchas solares.



CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA:

LIBROS

Allen G, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO :Estudios FAO Riego y Drenaje 56.

Artz, R., Ball, G., Behrens, K., Bonnin, G. ., Bower, C. ., Canterford, R., ... Weixin, Z. (2010). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Retrieved from http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf.

Asociados, M. (2005). Presión Atmosférica, Presión Barométrica y altitud. *La Guía MeTas*.

Atmospheric Pressure, Winds, and Circulation Patterns. (n.d.). In *Ocean Athosphere* (pp. 113–137).

Buytaert, W., Iñiguez, V., & De Bièvre, B. (2011). Hidrología del páramo. *Laboratory for Soil and Water Management. Katholieke Universiteit Leuven. Vital Decosterstraat 102. 3000 Leuven. Belgium*.

Davison, M., & Galvez, J. (2016). Índices de Estabilidad. *WPC International Desks*.

Federal Aviation, & Administration. (2008). Density Altitude, 8.

Helsel, D., & Hirsch, R. (2002). *Statistical Methods in Water Resources*. Science for a changing world (Vol. 36). <https://doi.org/10.2307/1269385>.

Hofstede, R., Lips, J., & Jongsma, W. (1998). *Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador*.

Hurtado, A., Nieves, Sánchez, D., & C., F. (2009). Análisis de correlación y regresión. In *Probabilidad y estadística para ingeniería. Un enfoque moderno* (pp. 1–88). Retrieved from <http://www.mcgraw-hill-educacion.com/pye01e/>.

Martínez, L. A. G. (2007). CURSO DE METEOROLOGÍA Y OCEANOGRAFÍA.

Muñoz, M. (2010). Principios Básicos. In *NOCIONES BÁSICAS DE VUELO* (pp. 6–10). Retrieved from <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV11.html>.



PAGINAS WEBS

Alexander, M., & Dias, J. (2015). Atmosphere-Ocean Processes Team. Retrieved from <http://www.esrl.noaa.gov/psd/atmosphere-ocean/>

American Meteorological Societ. (2015). Potential temperature - AMS Glossary. Retrieved from http://glossary.ametsoc.org/wiki/Potential_temperature.

American Meteorological Society. (2015). Precipitable water - AMS Glossary. Retrieved from http://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitable_water.

ArcGis Resource Center. (2016). Exercise 2: Creating a temperature table at a specific location. Retrieved from http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Exercise_2_Creating_a_temperature_table_at_a_specific_location/00460000001q000000/

Chaston, P. (2008). POTENTIAL TEMPERATURE AND EQUIVALENT POTENTIAL TEMPERATURE. Retrieved from <http://www.theweatherprediction.com/habyhints/162/>

Copyring. (2009). CS215 Temperature and Relative Humidity Probe. *Campbell Scientific Inc.*

Gareth, J. (1982). An appraisal of NCEP/NCAR reanalysis MSLP data viability for climate studies in the South Pacific, 226(19), 375–379.

Geosciences. (2016). Metereological Wind Direction. Retrieved from <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qyjBhcrAMYEJ:tornado.sfsu.edu/geosciences/classes/m430/Wind/WindDirection.html+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ec>.

Griffiths, R. (2006). Measurement of humidity, 1(1), 95–96. <https://doi.org/10.1038/173712c0>.

Ibáñez, J. (2008). Temperatura del Suelo y Microclimatología. Retrieved from <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/21/82825>.



Julca Bocanegra, R. (2012). GRAFICO DE HOVMOLLES - Composiciones de Colegio - charo990. Retrieved from <https://www.clubensayos.com/Ciencia/GRAFICO-DE-HOVMOLLES/1357516.html>.

Kalnay et al. (1996). NCEP/NCAR Reanalysis 1: Surface. <https://doi.org/Bull.Amer.Meteor.Soc.,77,437-470>.

Knutsvig, R. (2015). Severe Weather Indices. Retrieved from http://www.teachingboxes.org/avc/content/Severe_Weather_Indices.htm.

Minitab.Inc. (2016). ¿Qué es una gráfica de series de tiempo?

MODIS Atmosphere. (2015). Water Vapor Product. Retrieved from http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD05_L2/.

REVISTAS

Aceituno, P., & Montecinos, A. (1993). Analisis de la Estabilidad de la Relación entre la Oscilación del Sur y la Precipitación en América del Sur. *Études Andines*.

Ahmed, O. S., & Sadek, M. A. (2015). Meteorological Indices Approach for Prediction of Thunderstorm Probability at Two Coastal Sites in Egypt. *Atmospheric and Climate Sciences*, (July), 219–227.

Ávila, P. F. C. (2012). Formulación para Matriz de Correlación y Covarianza.

Avilés, A., Celleri, R., Solera, A., & Paredes, J. (2016). Probabilistic Forecasting of Drought Events Using Markov Chain-and Bayesian Network-Based Models: A Case Study of an Andean Regulated River Basin. *Water (Switzerland)*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/w8020037>.

Bilskie, J. (2001). Soil water status : content and potential. *Campbell Scientific, Inc*, 1784(435), 84321.

Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2003). HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO ANDINO: PROPIEDADES, IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD. A. *Laboratory for Soil and Water Management. Katholieke Universiteit Leuven. Vital Decosterstraat 102. 3000 Leuven. Belgium. B. Programa Para El Manejo Del Agua*



Y Del Suelo, Universidad de Cuenca, Ecuador C. Hydraulics Laboratory. *Katholieke Universiteit* , 1–26.

Carchi, E. (2015). *Elaboración De Un Balance Hídrico De La Cuenca Del Río Machangara*. Universidad de Cuenca.

Carramolino, D. (1994). La ley de giro (Drehungsgesetz) de Dove (1827) y el nacimiento de la dinámica atmosférica en Alemania. *Endoxa*. Retrieved from <http://revistas.uned.es/index.php/endoxa/article/download/4802/4622>.

Carvajal, R. (2010). Métos Estadísticos para Análisis Bivariado. In *Métodos Analíticos* (pp. 1–45). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.

Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2010). Space - time rainfall variability in the Paute Basain, Ecuadorian Andes. *Wiley InterScience*, 2274(2007), 2267–2274. <https://doi.org/10.1002/hyp>.

Copyring. (2010a). Pressure sensor. *Campbell Scientific, Inc*. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US7770473>.

Copyring. (2010b). *Rain Gage*. *Campbell Scientific Inc*.

Copyring. (2012). Met One 034B Windset Instruction Manual. *Campbell Scientific, Inc*, 1–12.

Copyring. (2013). CS300 Pyranometer. *Campbell Scientific Inc*.

Cordova, M., Carrillo, G., & Céleri, R. (2013). Errores de la Estimación de la Evapotranspiración de Referencia de una zona de páramo Andino debido al uso de datos mensuales, diarios y horarios. *Aqua -LAC*, 5, 1–2.

Dominguez, J. (2002). Estudio de impacto ambiental definitivo y plan de manejo ambiental de las instalaciones para generación hidroeléctrica propiedad de la empresa electro generadora del austro elecaustro s.a. *ECUAMBIENTE, HANS WOLF & PARTNER Cía. Ltda.- Consulting Group*.

Dominguez, J. (2011). ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO (EIAD) DE LA SUSTITUCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAYMIRÍN I – II:



CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE CARGA, TUBERÍA DE PRESIÓN Y CASA DE MÁQUINAS PARA EL PROYECTO SAYMIRÍN V (7,0 MW. *Hans Wolf & Partner Cia. Ltda INGENIEROS CONSULTORES*, 1–40.

Echeverri, O., & Valencia, Y. (2004). Análisis de los deslizamientos existentes en la quebrada de la Iguaná en la ciudad de Medellin a partir de la Interacción - Lluvia Pendiente - Formación Geológica. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España Y Portugal Sistema de Información Científica*, 33–45.

Edab, R. (1990). Measurement of soil Temperature, 19.

elriego. (2010). El agua, el suelo y la planta. Retrieved from <http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/temas/tema5/tema5.htm>.

Eslava, J. (1992). Variación temporal de la humedad relativa del aire en Santafe de Bogota. *Revista Academica Colombiana de Ciencias*.

Exline, J., Levine, A., & Levine, J. (2006). *Meteorology: An Educator 's Resource for Inquiry-Based Learning for Grades 5-9*.

Eyre, M. D., Rushton, S. P., Luff, M. L., & Telfer, M. G. (2005). Investigating the relationships between the distribution of British ground beetle species (Coleoptera, Carabidae) and temperature, precipitation and altitude. *Journal of Biogeography*, 32(6), 973–983. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01258.x>.

Frohlich, C. (1985). Effect of wind and altitude on record performance in foot races, pole vault, and long jump. *American Journal of Physics*, 53(8), 726. <https://doi.org/10.1119/1.14302>.

Genovez, J. (2015). *Diagnóstico del subsector Riego, en la microcuenca del río Machángara-Sistema de Riego Machángara*.

Gillett, N. P., Zwiers, F. W., Weaver, A. J., & Stott, P. A. (2003). Detection of human influence on sea-level pressure. *Nature*, 422(6929), 292–294. <https://doi.org/10.1038/nature01487>

Guallpa, M. (2014). Protocolo de control de calidad de datos hidrometeorológicos



de la red de etapa. *Programa de Monitoreo Y Vigilancia de Recursos Hídricos Y de Clima Sub Gerencia de Gestión Ambiental.*

Gualpa, M., & Celleri, R. (2013). Efecto De La Estimación De La Presión Atmosférica Sobre El Cálculo De Niveles De Agua Y Caudales. *Aqua-LAC*, 5, 56–68.

Hernández, M., García, J., Palenzuela, J., & Belda, F. (2011). Ejercicio de Homogenización y relleno de series diarias de Temperatura máxima, mediante el uso del Climatol. *Delegación Territorial de AEMET En La Región de Murcia (España).*

Hopmans, J. (2001). *Soil Temperature. Earth.*

Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la Región Andina de Colombia. *Cenicafe*, 57(4), 288–298.

Jayakrishnan, P. R., & Babu, C. A. (2014). Assessment of Convective Activity Using Stability Indices as Inferred from Radiosonde and MODIS Data. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014(January), 122–130.

Jeréz, O. (2016). VOCABULARIO DE TÉRMINOS GEOGRÁFICOS: AMPLITUD TÉRMICA. Retrieved from <http://vocabulariogeografico.blogspot.com/2011/09/amplitud-termica.html>

Mallen, M., & Urrego, S. (2006). Establecer la asociación existente entre las variables Meteorológicas Temperatura, Velocidad del Viento y Precipitación y las concentraciones de PM10 registradas en la Red de Calidad de Aire de Bogota D.C.

Meruane, C., & Garreaud, R. (2015). Determinación de Humedad en la Atmósfera. Retrieved from <http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/modHR.pdf>.

Meteorol, S., & Global, S. (n.d.). Guia de Referencia para Sistemas de Alerta Temprana de Crecidas Repentinias. Roles del Monitoreo Hidrometeorológico. 2010, 1–19.



Minder, J. R., Mote, P. W., & Lundquist, J. D. (2010). Surface temperature lapse rates over complex terrain: Lessons from the Cascade Mountains. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 115(14), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2009JD013493>.

Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural (a), 143. Retrieved from http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf.

Monsalve, M., Quintanilla, G., & Trujillo, M. (2011). Universidad de Cuenca. *Situación Nutricional de Los Adultos Mayores Que Habitan En Las Residencias de Acogida: Miguel León Y Cristo Rey de La Ciudad de Cuenca - 2011*, 13. Retrieved from file:///C:/Users/CTRIST~1/AppData/Local/Temp/TECN07.pdf.

Moya, R. (2006). Climas Del Ecuador. *INHAMI*, 1–14. Retrieved from [http://186.42.174.231/gisweb/METEOROLOGIA/CLIMATOLOGIA/Climas del Ecuador 2006.pdf](http://186.42.174.231/gisweb/METEOROLOGIA/CLIMATOLOGIA/Climas%20del%20Ecuador%202006.pdf).

Myers, J. (1962). Lifted Index (LI) - Best 4 Layers - [www.ViewWeather.com](http://www.viewweather.com). Retrieved from http://www.viewweather.com/lifted_index.html.

Narvaéz, G. (2007). Climas de los Páramos del Sur Occidente Colombiano. Estado Actual y Tendencias. *PARAMINDI*, (2001), 1–8.

Norte, F., Seluchi, M., Gomes, G., & Simonelli, S. (2007). Analisis de una Ola de Calor Extrema en la Región Subtropical de América del Sur. *Revista Brasileira de Meteorologia.*, v.22, n3, 373–386.

Ochoa, L. M. C. (2011). Estudio Arquelogicos en las cuencas Medias y Bajas del rio Machangara. *El Escorial*, 34,56. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5022/1/Tesis.pdf>.

Pabón, J. (2005). On the Daily of the climatological variable in Municipality of Quibdo, 59–66.



Pabón, J., Eslava, J., & Gómez, R. (2001). Generalidades de la Distribución Espacial y Temporal de la Temperatura del Aire y Precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 47–59.

Padrón, R. (2013). *Análisis de la Estructura de la Lluvia del Páramo*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/519/1/TESIS.pdf>.

Quito, N. (2015). *Predicción de Caudales en la cuenca del rio Machángara*.

Randall, D. (2004). 1 Basics. In *Atmosphere, Clouds and Climate* (pp. 1–26). Retrieved from <http://press.princeton.edu/chapters/s9773.pdf>.

Remón, X. (2005). *Estudio de la relación entre la situación meteorológica a escala sinóptica y la contaminación a escala regional: Aplicación al ozono troposférico en Catalunya*.

Rodríguez, R. M., Benito, Á., & Portela, A. (2004). *Meteorología y Climatología*.

Roy, I., & Haigh, J. D. (2010). Solar cycle signals in sea level pressure and sea surface temperature. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(2008), 3147–3153. <https://doi.org/10.5194/acp-10-3147-2010>.

Sanchez, J. (2008). Precipitaciones. *Geología--Univ. Salamanca (España)*. Retrieved from <http://hidrologia.usal.es>.

Sánchez, J. (2015). *Universidad De Cuenca*.

Science on a Sphere. (2016). Precipitable Water (over land) Real . time. Retrieved from <http://sos.noaa.gov/Datasets/dataset.php?id=59>.

Silva Edmundo Acevedo H Herman Silva R, P. C. (n.d.). MANUAL DE ESTUDIO Y EJERCICIOS RELACIONADOS CON EL AGUA EN EL SUELO, LA PLANTA Y LA ATMOSFERA.

Tapia, J. D. (2016). *Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal*. Universidad de Cuenca.

Thornton, P. E., Hasenauer, H., & White, M. (2000). Simultaneous estimation of



daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104, 255–271. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00170-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00170-2).

Townsend, L. W., R, M. I., L, S. R. P. and T., McAulay I R, B. D. T. D. G. M. H. G. S. K. and S. U. J., Measurements, N. C. on R. P. and, W, T. L., ... Menzel H G, O. D. B. P. and B. D. (2001). Radiation exposures of aircrew in high altitude flight. *Journal of Radiological Protection*, 21(1), 5–8. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/21/1/003>.

ua tio. (2002), 1–3.

Viale, M. (2010). Características de las Precipitaciones Orográficas de Invierno sobre los Andes Subtropicales Centrales, 163. Retrieved from http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4707_Viale.pdf.

Zea, G., León, G., & Eslava, J. (2001). Aplicación del Sistema de Asimilación de Datos Climáticos (CDAS) del Proyecto NCEP/NCAR -Reanalysis Data Set- para finesclimatológicos y sinópticos. *Meteorología Colombiana*, 143–150.

Zhiña, D. (2015). *Pronóstico de Sequías Caso de Estudio en la Cuenca del río Machángara*.